

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Spolehlivost spínacích přístrojů vn a vvn
Reliability of medium voltage and high voltage switching apparatus**

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Martin Staněk

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Spolehlivost spínacích přístrojů vn a vvn
Reliability of medium voltage and high voltage switching apparatus.

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte obecné pojmy spínacích přístrojů a jejich použití.
2. Popište základní pojmy spolehlivosti a možnosti použití pro spínací přístroje vn a vvn.
3. Na vybraných případech (dle možností ČEZ a ČEPS) realizujte spolehlivostní analýzu.
4. Rozeberte dosažené výsledky a možnosti jejich aplikace na konkrétní řešení v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

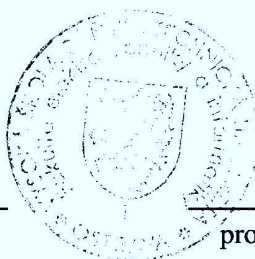
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 17.4.2014


.....
Martin Staněk

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc., za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování této diplomové práce. Rád bych také poděkoval panu Petru Spurnému, DiS., z firmy ČEPS, a. s. a jeho kolegům za poskytnutá data a ostatní materiály, za trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnovali.

Pan

Martin Staněk

Karlovy Vary, Rybáře

Buchenwaldská č.p. 495/19

360 10 Karlovy Vary

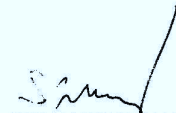
Váš dopis značka / ze dne	Naše značka	Vyřizuje / linka	Místo odeslání / dne
	6361/14/16634/SP	Spurný, DiS. 211 044 758	Praha 2.4. 2014

Věc: Prohlášení

Souhlasíme se zveřejněním diplomové práce na téma: „Spolehlivost spínacích přístrojů vn a vvn“ dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

Námi poskytnuté podklady jsou neveřejné povahy a nesmí se bez našeho vědomí dále rozšiřovat či publikovat (pro tento případ souhlasíme se zveřejněním poskytnutých dat).

S pozdravem


.....
Petr Spurný, DiS.
vedoucí oddělení 16634
Koncepce údržby
a standardizace

.....
Ing. Jiří Velek
vedoucí odboru 16630
Technická politika

Abstrakt

Tématem diplomové práce je spolehlivost spínacích přístrojů, definování základních pojmů a výpočet základních ukazatelů spolehlivosti.

Teoretická část popisuje funkční stavy a rozdělení přístrojů dle použití a napětových hladin. Nastiňuje vazby mezi zákony, nařízeními a normami, které jsou důležité pro zkoušky či výrobu spínacích přístrojů. Dále je zde uveden přehled základních ukazatelů spolehlivosti, typy odhadů ukazatelů spolehlivosti a definice spínacího přístroje z pohledu spolehlivostních modelů. Konec teoretické části je věnován technické diagnostice, jejímu rozdělení, analýze stavů systémů a firmě ČEPS, a. s., která poskytla data pro spolehlivostní analýzu. Praktická část řeší sběr dat, rozdělení spolehlivostní analýzy a její výpočet.

Klíčová slova

Spolehlivost, pravděpodobnost, ČSN, spínací přístroj, bezporuchovost, porucha.

Abstract

The theme of the thesis is the reliability of switching apparatus, defining the basic concepts and calculation of the basic indicators of reliability.

The theoretical part describes the functional status and distribution of devices by using a voltage levels. It outlines the links between laws, regulations and standards, which are important for test or production of switching apparatus. It also provides an overview of the basic indicators of reliability, types of estimates of reliability indicators and the definition of a switching apparatus from the standpoint of reliability models. The end of the theoretical part is dedicated to the technical diagnosis, its distribution, the analysis of the status of the system and the company ČEPS, as, which provided the data for reliability analysis. The practical part deals with data collection, distribution reliability analysis and its calculation.

Key words

Reliability, probability, Czech Technical Standard, switching apparatus, failure-free, failure.

Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Název	Jednotka
\wedge	statistický odhad veličin	
α	riziko výrobce	
β	riziko odběratele	
$D(x)$	rozptyl doby do poruchy	
$\Delta n(t)$	počet poruch za jednotku času	[čas ⁻¹]
Δ_i	interval měření	[čas]
$f(t)$	hustota pravděpodobnosti poruchy	[čas ⁻¹]
γ	konfidenční hladina	
I	elektrický proud	[A]
I_N	jmenovitý elektrický proud	[A]
K_n	součinitel prostoje	[-]
K_p	okamžitý součinitel pohotovosti	[-]
K_{tv}	součinitel technického využití	[-]
λ	intenzita poruch	[čas ⁻¹]
μ	střední frekvence oprav	[čas ⁻¹]
N_0	počet objektů v provozuschopném stavu na začátku zkoušky	[-]
$N(t)$	počet objektů v provozuschopném stavu v čase t	[-]
$n(t)$	počet porušených výrobků za čas t	[-]
$Q(t)$	pravděpodobnost poruchy	[-]
$Q_p(t)$	pravděpodobnost poruchy paralelního systému	[-]
$R(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu	[-]
$R_p(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu paralelního systému	[-]
$R_{ps}(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu paralelněsériového systému	[-]
$R_s(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu sériového systému	[-]
$R_{sp}(t)$	pravděpodobnost bezporuchového provozu sériověparalelního systému	[-]
$\delta(x)$	směrodatná odchylka	
T_γ	gammaprocentní život	
T_o	střední doba opravy	[den]
T_S	střední doba bezporuchového provozu, mezi poruchami	[den]
t_i	časy měření	[čas]
t_o	kumulativní doba opravy	[den]
t_p	kumulativní doba provozu	[den]
t_u	kumulativní doba plánované údržby	[h]
U	elektrické napětí	[V]
U_K	napětí nakrátko	[V]
U_S	napětí svorkové	[V]

Zkratka	Význam
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
CCZ	Česká značka shody
CE	grafické vyjádření ES prohlášení o shodě
č.	číslo
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČR	Česká republika

ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ES	Evropské společenství
EU	Evropská unie
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
NN	nízké napětí
obr.	obrázek
PNE	Podniková norma energetiky
PS	Přenosová soustava
Q	odpojovač
QE	uzemňovač
QM	vypínač
RAPEX	Evropský informační systém
SAP	software sloužící ke správě společností, podniků
Sb.	Sbírka
TN	Technická norma
tab.	tabulka
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
ZVN	zvlášť vysoké napětí

Seznam použitých obrázků a tabulek

Obrázek	Název	Strana
Obr. 1	Grafická podoba CE.....	17
Obr. 2	Vymezení pojmu spolehlivosti.....	19
Obr. 3	Přehled vybraných nejpoužívanějších ukazatelů spolehlivosti dle normy ČSN 01 0103	21
Obr. 4	Tvar vanové křivky	22
Obr. 5	Grafické vyjádření funkcí $Q(t)$, $R(t)$	24
Obr. 6	Schéma sériového modelu.....	34
Obr. 7	Schéma paralelního modelu	35
Obr. 8	Schéma paralelně sériového schématu.....	36
Obr. 9	Schéma sériově paralelního schématu.....	36
Obr. 10	Blokové schéma zapojení ovl. soustavy vypínače - dřívější.....	38
Obr. 11	Blokové schéma zapojení ovl. soustavy vypínače - nové	38
Obr. 12	Diagram poruch při zkoušce spolehlivosti	41
Obr. 13	Diagnostika zařízení.....	46
Obr. 14	Členění technické diagnostiky	47
Obr. 15	Ukázka použití odpojovačů ve venkovní rozvodně – detail.....	50
Obr. 16	Ukázka použití odpojovačů ve venkovní rozvodně – celkový pohled	50
Obr. 17	Schéma rozvodné sítě.....	51
Obr. 18	Monitorování stavu zařízení.....	52
Obr. 19	Stavy Q , Q_E , Q_M v jednotlivých letech sledovaného období.....	53
Obr. 20	Schéma vzorkování	54
Obr. 21	Funkce základních ukazatelů spolehlivosti odpojovačů	56
Obr. 22	Funkce základních ukazatelů spolehlivosti uzemňovačů	57
Obr. 23	Funkce základních ukazatelů spolehlivosti vypínačů	58
Obr. 24	Schéma doby provozu a opravy	59
Obr. 25	Zobrazení provozuschopného stavu a poruchy	59

Tabulka	Název	Strana
Tab. 1	Rozdělení přístrojů podle napětí	12
Tab. 2	Základní funkce bezporuchovosti neopravovaných výrobků.....	23
Tab. 3	Přehled zkušebních plánů.....	33
Tab. 4	Spolehlivost vybraných elektrických prvků	37
Tab. 5	Technicko-obchodní ukazatele v roce 2011	51
Tab. 6	Ukázka části sešitu získaných dat aplikace Excel	52
Tab. 7	Výběr dat odpojovačů	54
Tab. 8	Změřené hodnoty pro výpočet spolehlivostních ukazatelů odpojovačů	56
Tab. 9	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů odpojovačů	56
Tab. 10	Změřené hodnoty pro výpočet spolehlivostních ukazatelů uzemňovačů	57
Tab. 11	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů uzemňovačů.....	57
Tab. 12	Změřené hodnoty pro výpočet spolehlivostních ukazatelů vypínačů.....	58
Tab. 13	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů vypínačů	58
Tab. 14	Ukázka doby provozu a poruchy obnovovaného objektu	59
Tab. 15	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů odpojovačů	60
Tab. 16	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů odpojovačů	61
Tab. 17	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů vypínačů	61
Tab. 18	Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů vypínačů	62

Obsah

Úvod.....	11
1 Obecně o spínacích přístrojích.....	12
1.1 Rozdělení spínacích přístrojů podle napětí.....	12
1.2 Definice spínacího přístroje a jeho funkčních stavů.....	12
1.3 Označení spínacího přístroje jeho jmenovitými hodnotami	13
2 Požadavky na spínací přístroje z pohledu zákona při uvádění na trh.....	14
2.1 Spínací přístroj jako výrobek	14
2.2 Technické požadavky na výrobky	14
2.2.1 České technické normy a jejich postavení při posuzování shody.....	15
2.2.1.1 Normy harmonizované a určené.....	15
2.2.1.2 Právní význam a postavení Českých technických norem.....	16
2.3 Definice stanoveného výrobku	16
2.3.1 Posouzení shody	16
2.3.1.1 Označení CE.....	16
3 Spolehlivost spínacích přístrojů	18
3.1 Základní pojmy.....	18
3.2 Základní ukazatele spolehlivosti	20
3.2.1 Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů	21
3.2.2 Ukazatele spolehlivosti obnovovaných objektů	24
3.3 Parametrický a neparametrický odhad ukazatelů spolehlivosti.....	26
3.3.1 Neparametrické odhady ukazatelů spolehlivosti	26
3.3.2 Parametrické odhady ukazatelů spolehlivosti.....	27
3.3.2.1 Spojitá náhodná proměnná	27
3.3.2.1.1 Exponenciální rozdělení	27
3.3.2.1.2 Rayleighovo rozdělení.....	28
3.3.2.1.3 Weibullovo rozdělení	28
3.3.2.1.4 Gama rozdělení.....	29
3.3.2.1.5 Normální rozdělení.....	29
3.3.2.1.6 Charlierovo rozdělení	30
3.3.2.1.7 Logaritmicko – normální rozdělení	30
3.3.2.1.8 Složení některých výše uvedených rozdělení.....	30
3.3.2.2 Diskrétní náhodná proměnná.....	31
3.3.2.2.1 Binomické rozdělení (Bernouliho)	31
3.3.2.2.2 Poissonovo rozdělení (zákon řídkého jevu).....	31
3.3.2.2.3 Geometrické rozdělení.....	32
3.4 Odhad parametrů zákona rozdělení.....	32

3.5	Získávání údajů pro odhady charakteristik – zkušební plán.....	33
3.6	Spolehlivostní modely	34
3.6.1	Sériový spolehlivostní model	34
3.6.2	Paralelní spolehlivostní model	35
3.6.3	Kombinované modely	35
3.7	Spolehlivost základních částí elektrických přístrojů	37
3.7.1	Mechanická spolehlivost spínacího přístroje.....	37
3.7.2	Elektrická spolehlivost spínacího přístroje.....	38
3.8	Zkoušky spolehlivosti.....	39
3.8.1	Význam zkoušek spolehlivosti	41
3.8.2	Zkoušky dlouhodobé	42
3.8.3	Zrychlené zkoušky spolehlivosti	43
3.8.4	Třídící zkoušky spolehlivosti	44
4	Diagnostika	45
4.1	Typy diagnostických systémů	46
4.2	Výstupy diagnostických systémů	47
4.3	Analýza stavu systému	48
4.4	Volba diagnostického systému	49
4.5	Diagnostika pomocí modelu.....	49
5	ČEPS, a. s.	50
6	Výpočet spolehlivosti Q, QE, QM	52
6.1	Monitorování stavu zařízení	52
6.2	Postup výpočtu	53
6.3	Výpočet spolehlivostních ukazatelů	53
6.3.1	Neobnovované objekty.....	53
6.3.1.1	Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti odpojovačů	56
6.3.1.2	Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti uzemňovačů.....	57
6.3.1.3	Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti vypínačů	58
6.3.2	Obnovované objekty.....	59
6.3.2.1	Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti odpojovačů	60
6.3.2.2	Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti vypínačů	61
7	Závěr.....	63
	Literatura	65

Úvod

Přenosovou soustavu je možné si představit jako páteční prvek, který zajišťuje dodávku elektrické energie od výrobce k odběrateli, respektive od výrobce do velkých rozvodů, které tvoří rozhraní přenosová – distribuční soustava. Na tomto rozhraní jsou instalovány transformátory pro snížení napěťové hladiny, které jsou zapojeny do distribuční soustavy, která pak zajišťuje samotný rozvod k jednotlivým uživatelům.

Přenosovou soustavu tedy tvoří prvky, které jsou provozovány na napěťových hladinách 110, 220 a 400 kV. Těmito prvky jsou např. transformátory, výkonové vypínače, odpojovače, nadzemní vedení a další. Součástí přenosové sítě jsou i prvky, které jsou provozovány na nižších napěťových hladinách, bez kterých by ale funkčnost těchto výkonových prvků nebyla zajištěna vůbec či s velkými provozními obtížemi. Přenosová soustava slouží k přenosu elektrické energie ve velkém množství a na dlouhé vzdálenosti.

V České republice je výhradním provozovatelem přenosové soustavy firma ČEPS, a. s., které toto právo umožňuje zákon č. 458/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů (energetický zákon).

Bez spínacích přístrojů by nebylo možné přivádět elektrickou energii ke spotřebiteli a zajišťovat mu tak určitý komfort v každodenním životě. Proto je nutné, aby spínací přístroje zajišťovaly především spolehlivost, resp. bezpečnost. Pro správný a bezpečný chod přenosové soustavy je potřeba tuto bezpečnost (spolehlivost) určit. Pro určení míry bezpečnosti a spolehlivosti je možné využít (jako jednu z možností) spolehlivostní analýzy. Pomocí správně vyhotovených analýz lze učinit celou řadu opatření pro zvýšení spolehlivosti, např. navrhnout pravidelné kontroly, prohlídky, opravy apod.

V této diplomové práci bych rád přiblížil spínací přístroj z pohledu spolehlivostních schémat, možné druhy odhadů ukazatelů spolehlivosti, sběr dat pro vybraný typ analýzy, problematiku tvorby spolehlivostních analýz a praktickou ukázkou výpočtu.

1 Obecně o spínacích přístrojích

1.1 Rozdělení spínacích přístrojů podle napětí

Napětí je jeden z nejdůležitějších parametrů energetických zařízení. Je to jeden z výchozích údajů pro konstrukci přístrojů, strojů, zařízení.

Soustavy podle napětí je možné rozdělit následujícím způsobem:

Tab. 1 Rozdělení přístrojů podle napětí

Napětové pásmo ^{*)}	Označení napětí		Název zařízení	Jmenovité napětí		
	mezinárodní	české		v uzemněné soustavě		v izolované soustavě
				mezi vodičem a zemí	mezi vodiči	mezi vodiči
1.	2a	2b	3.	4.	5.	6.
I	ELV	mn	zařízení malého napětí	do 50 V ^{**) v} četně	do 50 V ^{**) v} četně	do 50 V ^{**) v} četně
II	LV	nn	zařízení nízkého napětí	nad 50 V do 600 V ^{**) v} četně	nad 50 V do 1 000 V ^{**) v} četně	nad 50 V do 1 000 V ^{**) v} četně
–	HV ^{***)}	vn	zařízení vysokého napětí	nad 0,6 kV a menší než 30 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV
		vvn	zařízení velmi vysokého napětí	od 30 kV a menší než 171 kV	od 52 kV a menší než 300 kV	od 52 kV a menší než 300 kV
		zvn	zařízení zvlášť vysokého napětí	–	od 300 kV do 800 kV včetně	–
		uvn	zařízení ultra vysokého napětí	–	nad 800 kV	–

^{*)} Napětová pásma I a II v oblasti napětí do 1 000 V jsou stanovena normou ČSN IEC 449. V oblasti zařízení vysokého napětí uvádějí technické normy IEC a EN (např. ČSN EN 61936-1 a ČSN EN 50341-1) rozsah napětí, pro který se uvádějí nejvyšší napětí pro zařízení od 3,6 kV do 800 kV včetně.

^{**)} Pro stejnosměrná zařízení se za malá napětí považují jmenovitá napětí do 120 V včetně, za nízká napětí se považují jmenovitá napětí vyšší než 120 V do 1 500 V včetně, pokud se jedná o napětí mezi vodiči, a do 900 V včetně, pokud se jedná o napětí mezi vodičem a zemí. Za vysoká napětí se považují napětí mezi vodiči vyšší než 1 500 V a napětí mezi vodičem a zemí vyšší než 900 V.

^{***)} Obecně se v mezinárodních a evropských normách napětí nad 1 kV mezi vodiči uvádí jako vysoké napětí a označuje se HV. Jsou v něm zahrnuta napětí označovaná podle této normy vn, vvn, zvn a uvn. V normách IEC, EN a v jiných dokumentech EU i v dokumentech některých států se uvádí též tzv. střední napětí (medium voltage – MV), které svým rozsahem napětí odpovídá přibližně v ČR používanému vn. Uvádí se o něm, že spadá pod termín vysoké napětí (HV). Mezní hodnoty tohoto napětí nejsou celosvětově ani celoevropsky jednotně stanovené. Proto není toto napětí v této normě uvedeno. HV také může označovat nejvyšší napětí ze dvou nebo více napětí použitých v přístroji nebo v instalaci, přičemž LV pak označuje nejnižší ze dvou nebo více napětí použitých v přístroji nebo v instalaci (viz např. ČSN IEC 60050-151). Takovéto označení se uplatňuje například u transformátorů pro označení jeho vinutí.

Zdroj: ČSN 33 0010, ed. 2: 2014, *Elektrická zařízení – Rozdělení a pomy*, (UNMZ).

1.2 Definice spínacího přístroje a jeho funkčních stavů

Spínací prvky slouží ke spínání, ochraně a řízení elektrických strojů a spotřebičů.

- Spojují a rozpojují elektrický obvod.
- Zapínají a vypínají proud v obvodu.
- Řídí elektrický obvod takovým způsobem, aby dosáhl požadovaného provozního stavu.
- Jistí elektrické zařízení.
- Chrání živé bytosti před úrazem elektrického proudu.

Jak už napovídá samotný název, podstatou spínacích prvků je spínání. Spínač je souhrnný název pro vypínač, odpínač, odpojovač, výkonový vypínač, stykač, jistič atd.

- Odpojovač – slouží ke spínání a rozpojování obvodu pod napětím bez zatížení.
- Odpínač – slouží ke spínání a rozpojování obvodu pod zatížením s provozními proudy.
- Výkonový vypínač – slouží ke spínání a rozpojování obvodu pod zatížením (vypíná i zkrat).
- Stykač – slouží k dálkovému ovládání přístrojů, spotřebičů s častou funkcí spínání-rozpojování. Zapíná a vypíná i malý násobek I_N .
- Jistič – zapíná a samočinně vypíná i zkratové proudy do štítkové hodnoty.

Základním úkolem spínače je uzavírat a přerušovat elektrický obvod.

Funkční stavy spínače:

Má dva trvalé (statické) stavy:

- Poloha vypnuto ($I=0$, $U_K=U_S$).
- Poloha zapnuto ($I=I_N$, $U_K=0$).

Spínač má ještě dva další funkční stavy, protože jeho hlavní náplní není trvalý přenos napětí, ale umožnění přechodu z jednoho stavu do druhého:

- Vypínání ($I \rightarrow 0$, $U_K \rightarrow U_S$).
- Zapínání ($0 \rightarrow I$, $U_S \rightarrow U_K$).

1.3 Označení spínacího přístroje jeho jmenovitými hodnotami

Každý spínací přístroj musí mít tyto údaje:

Značku (logo) výrobce nebo jméno, výrobní číslo, označení typu a dále:

- jmenovité napětí (V).
- jmenovitý proud (A).
- jmenovitý příkon (W).
- kmitočet (Hz).
- jiné hodnoty, které jsou důležité pro používání (četnost spínání, odpor, zhášecí médium apod.).

Jmenovité hodnoty stanoví výrobce, musí být v souladu s normou výrobku.

Většinou je norma XXXXXX-1 norma základní, obecná pro určitou skupinu výrobků a navazující XXXXX-2 až XX konkretizují její požadavky pro jednotlivé výrobky.

ČSN EN 60947-1 je tedy obecná pro spínací a řídicí přístroje nízkého napětí, a např. ČSN EN 60947-2 konkretizuje její požadavky pro jističe.

2 Požadavky na spínací přístroje z pohledu zákona při uvádění na trh

2.1 Spínací přístroj jako výrobek

Výrobkem označujeme věc (movitou, přemístitelnou), která byla vyrobena a je určena k nabídce spotřebiteli, nebo u níž je zřejmé, že bude spotřebitelem užívána.

Výrobek, který za obvyklých nebo rozumně předvídatelných podmínek nepředstavuje po (stanovenou či obvyklou) dobu svého užívání žádné nebezpečí, nebo je nebezpečí minimální, nazýváme bezpečný.

Za bezpečný výrobek je považován takový, který splňuje požadavky mezinárodních smluv a zvláštních právních předpisů. Jestliže pro výrobek takový předpis neexistuje, považuje se za bezpečný ten výrobek, který splňuje požadavky českých technických norem (dále jen ČSN) nebo odpovídá stavu technických a vědeckých poznatků známých v době jeho uvádění na trh.

Ochranu spotřebitele zajišťuje mimo jiné zákon č. 102/2001 Sb., O obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon určuje povinnosti výrobců, dovozců, distributorů ve vztahu k zajištění bezpečnosti výrobků, vymezuje dozorové orgány příslušné ke kontrole dodržování zákona, vymezuje základní právní rámec pro fungování systému RAPEX (evropský informační systém, sleduje informace o výskytu nebezpečných a nepotravinářských výrobků).

Každý výrobek musí být při uvádění na trh opatřen průvodní dokumentací a označen způsobem stanoveným zvláštními předpisy.

Dozor nad uváděním bezpečných výrobků na trh provádí Česká obchodní inspekce – pokud není uvedeno jinak. Z důvodu kontrol výrobků z hlediska bezpečnosti má právo odebírat a stahovat výrobky z trhu.

[3]

2.2 Technické požadavky na výrobky

Spínací přístroj je považován za výrobek, a proto musí výrobci dodržovat ustanovení zákona č. 22/1997 Sb. ve znění platných předpisů „O technických požadavcích na výrobky“ nebo zákon č. 102/2001 Sb. „O obecné bezpečnosti výrobků“.

Zákon č. 22/1997 Sb. je zvláštním právním předpisem, který upravuje způsob stanovování technických požadavků na výrobky, jež by mohly ohrozit oprávněný zájem (tj. zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí).

Pokud výrobky představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu, vláda svými nařízeními stanoví:

- O které výrobky se jedná.
- Technické požadavky na tyto stanovené výrobky.
- Označení některých stanovených výrobků (CE označení shody).
- Osoby provádějící/podílející se na posouzení shody.
- Podmínky pro uvádění výrobků na trh včetně postupů posuzování shody jejich vlastností s požadavky na bezpečnost.

Na zákon č. 22/1997 Sb. ve znění platných předpisů „O technických požadavcích na výrobky“ navazují příslušná nařízení vlády.

Přílohy nařízení vlády zpravidla obsahují výčet základních technických požadavků, náležitosti CE označení shody a ES prohlášení o shodě, požadavky na vnitřní kontrolu výroby a podmínky autorizace podle toho, co je z hlediska posuzování shody vyžadováno.

V nařízeních vlády, která většinou vycházejí ze směrnic evropských společenství, se zpravidla:

- Určuje výčet stanovených výrobků.
- Stanoví technické – základní – požadavky na výrobky.
- Uvádí, že pokud jsou tyto požadavky konkretizovány harmonizovanými českými technickými (případně určenými) normami nebo jinými dokumenty a vlastnosti stanovených výrobků jsou s nimi v souladu, znamená to splnění základních požadavků.
- Stanoví postupy posouzení shody výrobků.
- Definuje, co musí obsahovat prohlášení o shodě, nebo jaké označení je stanoveno.
- Uvádí přechodná ustanovení.

[3]

2.2.1 České technické normy a jejich postavení při posuzování shody

Ve vztahu k obecně formulovaným, výše uvedeným požadavkům mají zvláštní význam harmonizované české technické normy. Pokud jsou tyto normy dodrženy, předpokládá se dodržení základních požadavků stanovených nařízením vlády. Harmonizovanou normou se stává ta česká technická norma, kterou jako harmonizovanou oznámil Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví ve svém Věstníku s uvedením toho nařízení vlády, s kterou je harmonizována.

Při posuzování shody jsou důležité i technické normy. Zákon tento případ zohledňuje, určuje definici české technické normy, harmonizované technické normy a jejich význam.

Předmětem úpravy v zákoně je zejména:

- Definice české technické normy (ČSN). Pokud je vydání normy oznámeno ve Věstníku úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, jedná se o českou technickou normu.
- Ustanovení, že ČSN nejsou obecně závazné. Obecná právní povinnost postupu v souladu s ČSN není.
- Stanovení národního normalizačního orgánu. Řešení vycházelo z potřeby zajištění jediné soustavy národních technických norem, za kterou zodpovídá ve státě jediný subjekt oprávněný je schvalovat a vydávat. Zákon je koncipován tak, že tvorbu a vydávání ČSN v rozsahu stanoveném zákonem zaručuje stát. Právní osoba, která toto provádí je ÚNMZ.
- Definice harmonizovaných ČSN a stanovení významu v právních vztazích.

[3]

2.2.1.1 Normy harmonizované a určené

Právní úprava harmonizovaných norem v České republice je podobná právní úpravě v Evropských společenstvích.

- Norma se stává harmonizovanou, pokud plně přejímá požadavky stanovené harmonizovanou evropskou normou.
- Jestliže je to pro splnění technických požadavků na výrobky nezbytné, určuje ÚNMZ pro posuzování shody další normy nebo technické dokumenty mezinárodních organizací, které se nazývají určené normy. Jejich určení oznamuje ve Věstníku.

[3]

2.2.1.2 Právní význam a postavení Českých technických norem

České technické normy (i harmonizované) nejsou obecně závazné. Harmonizované ČSN nemusí být dodrženy, pokud lze základní požadavky splnit jiným odpovídajícím způsobem. Pokud jsou však dodrženy, má se za to, že základní požadavky byly dodrženy.

Pokud harmonizované ČSN neexistují, mají stejný právní význam i normy IEC (mezinárodní elektrotechnická komise, která vypracovává a publikuje mezinárodní normy pro elektrotechnické, elektronické a podobné obory).

V případě nedodržení požadavků plynoucích z norem vzniká výrobcům nebo dovozcům, zejména při posuzování shody, další právní povinnost. To může být například zapojení autorizované osoby do procesu posuzování shody stanoveným způsobem. Touto autorizovanou osobou se může stát např. Elektrotechnický zkušební ústav Praha.

[3]

2.3 Definice stanoveného výrobku

Stanovený výrobek je uveden v definici jednotlivých prováděcích nařízení vlády z důvodu neexistence seznamu stanovených výrobků u většiny nařízení. Při posuzování určitého elektrického zařízení je tedy potřeba vycházet z výše zmíněné definice. Některé výrobky však stanovené nejsou.

V praxi probíhá obecné posouzení takto:

- Pokud lze zařízení použít, aniž by muselo být zabudováno do dalšího zařízení, jedná se o stanovený výrobek. (např. u diod není předpoklad samostatné funkce – nejedná se o stanovený výrobek).

U těch je nutno:

- Zajistit posouzení shody a označit logem CE před jejich uvedením na trh v případech, kdy jsou výrobky vyrobené v ČR či EU.
- Zajistit vydání prohlášení o shodě tehdy, když je výrobek dovezen z jiných zemí než EU.

Jako příklad stanovených výrobků je možné uvést vypínače, jističe, pojistky, motory apod.

[3]

2.3.1 Posouzení shody

Z důvodu ekonomické a časové náročnosti zkoušek jednotlivých výrobků je nemalou pomůckou „Posouzení o shodě“. Ta zaručuje, že výrobek, který se vyrábí podle identické dokumentace zkoušeného výrobku, je naprosto totožný se zkoušeným výrobkem a tudíž i veškeré vlastnosti přebírá ze zkoušeného subjektu.

Posuzování shody se týká stanovených výrobků. Jednotlivá prováděcí nařízení vlády určují, které výrobky lze považovat za stanovené.

[3]

2.3.1.1 Označení CE

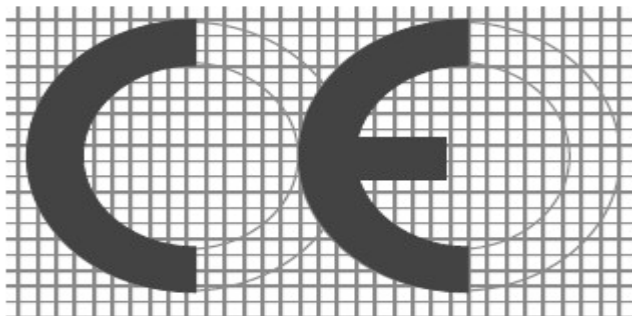
Označení CE vyjadřuje, že výrobek splňuje technické požadavky všech nařízení vlády, které se na něj vztahují. Výrobek musí být touto grafickou značkou označen viditelně a nesmazatelně, pokud to není možné, musí být označen jeho štítek s údaji, případně jeho obal. Označení CE nesmí nést výrobek do doby, než je dokončen postup posuzování shody. Společně s označením CE je zároveň vydáno ES prohlášení o shodě.

Nařízení vlády č. 291/2000 Sb. přesně stanoví grafickou podobu označení CE. Při zvětšování nebo zmenšování označení CE je nutné proporce dané mřížkou zachovat.

Jednotlivé části označení CE musí mít stejnou výšku – nesmí být menší než 5 mm (pokud není jiným nařízením vlády určeno jinak).

Mřížka není součástí označení a slouží pouze pro potřeby proporcionálního zvětšení či zmenšení.

[5]



Obr. 1 Grafická podoba CE

Zdroj: Vlček, J.: *Bezpečnost elektrických zařízení – příručka pro konstruktéry*. 1. vyd. Praha: BEN 2007, 112 s. ISBN 978-80-7300-222-0.

3 Spolehlivost spínacích přístrojů

3.1 Základní pojmy

Prvek, systém nebo jeho část může být nazván objektem či výrobkem. Objekt během svého života prochází několika fázemi, jako je výroba, doprava, skladování, vlastní využití, údržba, oprava a vyřazení. V určitých fázích pracovního života výrobku budeme požadovat jeho spolehlivost.

[4]

Objekt je možné si představit jako předmět stanoveného určení, uvažovaný z pohledu zamýšleného poslání, jehož spolehlivost se studuje nebo zkouší. Objekty rozdělujeme na opravované a neopravované. V některé literatuře je možné nalézt pojmy obnovovaný a neobnovovaný objekt.

Z pohledu definic může být objekt výrobkem a naopak.

Pravděpodobnost – je vyjádřena zlomkem či procentem. Udává poměr součtu případů, v nichž lze očekávat nějakou událost k celkovému počtu případů.

Poruchovost – udává poměr selhání k celkovému počtu případů.

Pohotovost - je vlastnost vyjadřující provozuschopnost zařízení v jakémkoliv časovém okamžiku.

Doba – definuje časový interval, ve kterém je očekávána pravděpodobnost spolehlivé činnosti zařízení za provozu. Je to jeden z nejdůležitějších parametrů při posuzování spolehlivosti a je udáván v časových jednotkách. Např. počet provozních hodin.

Životnost – je určena dobou provozních hodin, provozních cyklů, zatížení, počtem funkcí, kalendářní dobou – je určena v technické dokumentaci výrobku.

[1]

Porucha – je jev, který ukončí provozuschopný stav zařízení. Samotné poruchy lze třídit podle řady hledisek:

- Podle příčiny vzniku poruchy – z vnějších a vnitřních příčin.
- Podle časového průběhu změn – náhlé a postupné.
- Podle stupně porušení provozuschopnosti – úplné a částečné.
- Podle původu – konstrukční, technologické, provozní.
- Zda jsou odstranitelné či ne.

[11]

Spolehlivost je možné definovat jako vlastnost, která spočívá ve schopnosti výrobku plnit požadované funkce po stanovenou dobu při zachování hodnot provozních ukazatelů podle stanovených technických podmínek. Charakterizuje ji šest základních vlastností:

Bezporuchovost, životnost, opravitelnost, udržovatelnost, skladovatelnost, bezpečnost.

Spolehlivost je možné definovat i jako schopnost výrobku uchovat svou kvalitu v daných mezích využívání. Bezporuchovost nazýváme schopnost výrobku plnit bez poruchy požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek. Životností lze popsat stav, kdy výrobek plní požadované funkce až do mezního stavu, který je stanoven technickými podmínkami. Před tímto mezním stavem se u výrobku mohou projevit takové rysy spojené s opotřebením či stárnutím, že není v ekonomickém zájmu je odstranit a v některých případech to ani není možné. Někdy může jít i o tzv. technické vyhoření (morální opotřebení). Provozní podmínky způsobují zatížení, které vyvolávají postupné změny výrobků, a tyto změny nazýváme opotřebením. Zatížení mimo provoz způsobují stárnutí. Schopnost výrobku odhalit poruchu, zjistit její příčinu a odstranit ji opravou je opravitelnost.

Udržovatelnost bývá nazývána schopnost výrobku předcházet poruchám předepsanou údržbou.

Pokud si výrobek zachová nepřetržitý bezvadný – provozuschopný – stav po dobu přepravy a skladování při dodržení stanovených podmínek, lze tento stav popsat jedním slovem, skladovatelnost.

Bezpečností nazveme takovou vlastnost výrobku, která neohrožuje lidské zdravý či životní prostředí při plnění předepsané funkce ve stanovené době a za stanovených podmínek.

[4]

Obecný popis, který popisuje spolehlivost, nelze kvantifikovat a souhrnně vyjádřit žádným číselným ukazatelem. Lze ale kvantifikovaně hodnotit její jednotlivé dílčí ukazatele (např. bezporuchovost, pohotovost) pomocí konkrétních ukazatelů spolehlivosti.

[8]

Všechny výše uvedené dílčí spolehlivostní vlastnosti lze tedy charakterizovat kvantitativně pomocí vhodně zvolených spolehlivostních ukazatelů nebo charakteristik. Nejdůležitější je vyjádření bezporuchovosti a pohotovosti. Bezporuchovost určujeme u neobnovovaných (neopravitelných) objektů anebo tam, kde nás zajímá činnost do první poruchy. Pohotovost (provozuschopnost) určujeme u obnovovaných objektů. Obnovované objekty se po vzniku poruchy opraví a provoz pokračuje. Oprava je účelná tehdy, pokud cena opravy a náhradních součástí nepřesáhne pořizovací cenu nového zařízení. Obnovovaný prvek nebo soustavu lze definovat pomocí stavů bezporuchového provozu a oprav, zatímco jsou okamžiky poruch a oprav náhodné.

[4]

V technické praxi se můžeme setkat s pojmy inherentní, provozní a odhadovaná (predikovaná) spolehlivost.

Inherentní spolehlivost je spolehlivost dána návrhem a výrobou. Výrobek je ovlivněn pouze výrobou a konstrukcí. Do této spolehlivosti nelze zahrnout zhoršující se vlivy provozních podmínek, prostředí, způsob údržby, lidský faktor apod.

Provozní spolehlivost naopak zahrnuje provozní vlivy a jde tedy o činnost, která bude po určitou dobu přiměřená účelu zařízení za stanovených provozních podmínek.

Odhadovaná spolehlivost je výsledkem výpočtu, analýz a prognóz. Jedná se o výstup použitých metod odhadu, vstupních informací o spolehlivosti projektovaného prvku, použitého výpočtového modelu systému, znalostí analytika provádějícího odhad apod.

Spolehlivost je možné definovat jak v širším, tak omezenějším pojetí. Širší pojetí znamená komplexní vlastnost, vyjadřující obecnou schopnost objektu zachovat funkční a další vlastnosti v čase za daných podmínek. Toto zobecnění je možné v určitých konkrétních případech určit pomocí dílčích vlastností – životností, diagnostikovatelností, skladovatelností atd. Užší pojetí znamená definici spolehlivosti jako pohotovosti, která je určena bezporuchovostí, udržitelností, zajištěním údržby. Vztah mezi oběma pojetími spolehlivosti je uveden na obr. 2.



Obr. 2 Vymezení pojmu spolehlivosti

Zdroj: Fuchs, P.: *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec: Technická universita 2002.

Spolehlivost patří mezi nejdůležitější vlastnosti, které charakterizují jakost zařízení a služeb. O úrovni spolehlivosti zařízení rozhoduje řada faktorů. Nejvíce ovlivňuje spolehlivost projekt, výroba zařízení (použité materiály, komponenty, výrobní postupy) a údržba zařízení.

[8]

3.2 Základní ukazatele spolehlivosti

Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, je spolehlivost objektu tvořena jednou nebo několika vyčíslitelnými charakteristikami vlastností, tzn. ukazateli spolehlivosti a pro členění ukazatelů spolehlivosti je také důležité rozdělení objektů.

Objekty dělíme:

- Opravitelné (obnovované).
- Neopravitelné (neobnovované).

Oprava je chápána jako přechod z poruchového do bezporuchového stavu. Neopravitelný objekt může být např. žárovka.

Ukazatele spolehlivosti lze popsat teoretickými nebo empirickými charakteristikami. Teoretické charakteristiky mají základ v počtu pravděpodobnosti, empirické charakteristiky jsou bodovým hodnocením statisticky oprávněného náhodného výběru. Základní sledovanou veličinou v teorii spolehlivosti je čas, což je časový interval od uvedení do provozu do poruchy objektu.

[10]

Bezporuchovost lze sledovat i v jiné závislosti než na čase (příkladem může být počet sepnutí vypínače). Pro snadnější výpočty je zaveden předpoklad, že je objekt buď ve stavu bezporuchového provozu, nebo ve stavu poruchy a přechod mezi těmito stavy je okamžitý.

[2]

Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů

1. Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$.
2. Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$.
3. Hustota poruch $f(t)$.
4. Intenzita poruch $\lambda(t)$.
5. Střední doba bezporuchového provozu T_s .

Ukazatele spolehlivosti obnovovaných objektů

1. Střední doba mezi poruchami T_s .
2. Intenzita poruch λ .
3. Okamžitý součinitel pohotovosti K_p .
4. Střední doba opravy T_o .
5. Střední frekvence oprav μ .
6. Součinitel prostoje K_n .
7. Součinitel technického využití K_{iv} .

[10]

Neopravované výrobky Střední doba $\left\langle \begin{array}{l} \text{do poruchy} \\ \text{života} \end{array} \right.$ 100% doba $\left\langle \begin{array}{l} \text{do poruchy} \\ \text{života} \end{array} \right.$ Pravděpodobnost bezporuchového provozu v daném intervalu $(0, t)$ Intenzita poruch	$E(\tau), \Theta, \mu_1$ $t_{1-\alpha} = R^{-1}(\alpha)$ $R(t)$ $\lambda(t), \lambda_1(t)$
Opravované výrobky Střední doba mezi poruchami 100% doba mezi poruchami Pravděpodobnost bezporuchového provozu po dobu t Střední počet obnov (poruch) v intervalu $(0, t)$ u prvků jednoho typu (funkce obnovy) Hustota poruch (obnov) za časovou jednotku u prvků jednoho typu (parametr proudu poruch) Střední doba do první GO (resp. preventivní údržby) 100% doba do první GO (resp. preventivní údržby) Střední doba mezi GO (resp. preventivními údržbami) 100% doba mezi GO (resp. preventivními údržbami) Střední celkový technický život 100% celkový technický život	$E(\tau), \Theta, \mu_1$ $t_{1-\alpha} = R^{-1}(\alpha)$ $R(t)$ $H(t)$ $h(t)$

Obr. 3 Přehled vybraných nejpoužívanějších ukazatelů spolehlivosti dle normy ČSN 01 0103

Zdroj: ČSN 01 0103: 1975, *Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav*, (UNMZ).

3.2.1 Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů

Základním ukazatelem bezporuchovosti neopravovaných výrobků je pravděpodobnost bezporuchového provozu a z ní odvozené veličiny: pravděpodobnost poruchy, hustota poruch, intenzita poruch a střední doba bezporuchového provozu.

V okamžiku $t = 0$ začne neporouchaný objekt pracovat za podmínek, které se, zatím, v čase nemění. V okamžiku $t = x$ dojde k poruše. Doba x , po kterou objekt pracoval bez poruchy, se nazývá doba do poruchy. Jak již bylo zmíněno výše v kapitole 3.2, čas může být běžný kalendářní, ale také např. počet ujetých kilometrů při sledování spolehlivosti automobilů nebo počet cyklů u vypínačů VVN. Je tedy patrné, že závisí na konkrétní řešené úloze výpočtu spolehlivosti.

[4]

Níže popsany postup vychází z předpokladu, který označuje dobu do poruchy x jako nezápornou náhodnou veličinu s distribuční funkcí:

$$Q(t) = P(x < t) \quad (3.2.1.1)$$

Funkce $Q(t)$ značí, že na intervalu $(0, t)$ dojde k poruše. S touto distribuční funkcí je spojena funkce $R(t)$, která označuje pravděpodobnost bezporuchového provozu. Často bývá popisována jako funkce spolehlivosti neboli spolehlivost.

$$R(t) = P(x \geq t) = 1 - Q(t) \quad (3.2.1.2)$$

$R(t)$ je opakem funkce $Q(t)$, vyjadřuje tedy pravděpodobnost toho, že na intervalu $(0, t)$ k poruše nedojde. $R(t)$ je nerostoucí funkce času. $Q(t)$ je neklesající funkce času. Obě veličiny jsou kladná bezrozměrná čísla o maximální hodnotě jedna. Ve většině případů platí, že $R(0) = 1, R(\infty) = 0$.

Tento zápis odpovídá předpokladu, že na začátku sledování je objekt v bezporuchovém stavu, s rostoucím t klesá hodnota $R(t)$ asymptoticky k nule.

Hustotu pravděpodobnosti poruchy vyjadřuje vztah:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3.2.1.3)$$

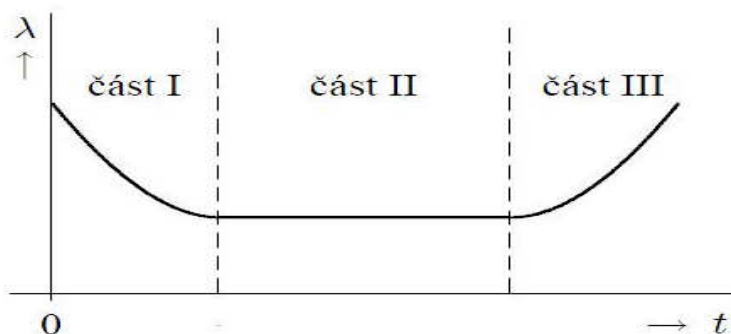
V případě absolutně spojitě funkce $Q(t)$, je tato hustota označována jako hustota poruch.

Velmi častým jevem bývá vyjádření bezporuchovosti prostřednictvím intenzity poruch $\lambda(t)$. Intenzita poruch je v teorii spolehlivosti důležitá charakteristika a vyjadřuje ji vztah:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - Q(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.2.1.4)$$

Jde vlastně o vyjádření poměru hustoty pravděpodobnosti poruchy a pravděpodobnosti bezporuchového provozu. Slovy můžeme intenzitu poruchy definovat jako stav, kdy prvek, který se neporouchal do okamžiku t , se porouchá v intervalu $(t, t+\Delta t)$.

Typický tvar intenzity poruch je např. vanová křivka. Tato křivka se dělí na tři úseky (A, B, C).



Obr. 4 Tvar vanové křivky

Zdroj: Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.

- Úsek I: období záběhu.
- Úsek II: období normálního využívání.
- Úsek III: období poruch dožitím.

Tuto křivku lze těžko vyjádřit v elegantním analytickém tvaru pro všechna tři období najednou. V praxi je pro spolehlivostní analýzu používán postup, kdy se intenzita poruch aproximuje jednoduchými analytickými funkcemi pro každé období zvlášť. Není podmínkou, aby křivka uvedena na obr. 4 měla vždy všechna tři období.

Časový průběh intenzity poruch $\lambda(t)$ je z hlediska posouzení bezporuchovosti nejnáročnější. [4]

Hustota pravděpodobnosti poruchy a intenzita poruch bývají udávány v jednotkách (h^{-1}) nebo (rok^{-1}), mají tedy rozměr (čas^{-1}).

Pokud známe alespoň jednu ze základních veličin $R(t)$, $Q(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$, je možné zbývající tři odvodit. Všechny čtyři funkce popisují bezporuchovost neopravovaného objektu.

Tab. 2 Základní funkce bezporuchovosti neopravovaných výrobků

	$R(t)$	$Q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	$R(t)$	$1 - Q(t)$	$1 - \int_0^t f(t)dt$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$
$Q(t)$	$1 - R(t)$	$Q(t)$	$\int_0^t f(t)dt$	$1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dQ(t)}{dt}$	$f(t)$	$\lambda(t) \cdot \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$	$\frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{1 - Q(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(t)dt}$	$\lambda(t)$

Zdroj: Goňo, R. – Chemišinec, I. – Martínek, Z. a kol.: *Spolehlivost v elektroenergetice*. 1. vyd. ČVUT Praha: CONTE, ISBN 80-239-6483-6.

Střední doba bezporuchového provozu, která je pro neobnovované objekty rovna střední době do poruchy, je definována jako střední (očekávaná) hodnota E náhodné veličiny, tj. doby do poruchy x .

$$T_s = m = E(x) = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (3.2.1.5)$$

Rozptyl doby do poruchy je dán vztahem:

$$D(x) = 2 \int_0^{\infty} tR(t)dt - m^2 \quad (3.2.1.6)$$

Směrodatná odchylka δ , rovná střední kvadratické odchylce náhodné doby poruchy x od její střední hodnoty m se definuje jako odmocnina z rozptylu:

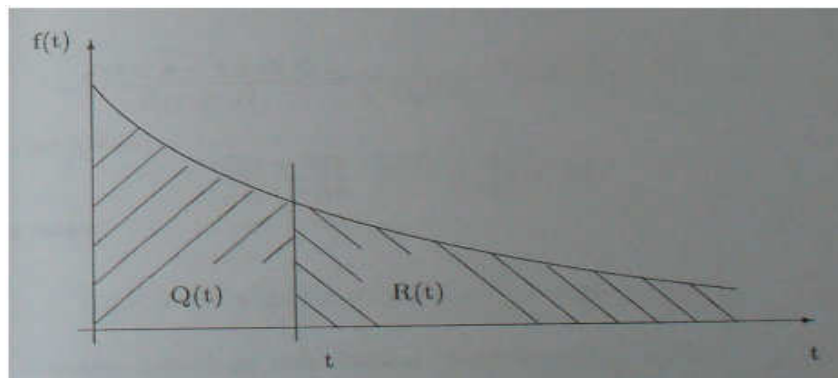
$$\delta(x) = \sqrt{D(x)} \quad (3.2.1.7)$$

Gamaprocentní život T_γ je doba, za kterou pravděpodobnost bezporuchového provozu objektu dosáhne hodnotu γ a definuje ji vztah:

$$R(T_\gamma) = \gamma \quad (3.2.1.8)$$

[2]

Funkce $Q(t)$ a $R(t)$ vyjádřené pomocí hustoty pravděpodobnosti poruch lze graficky zobrazit jako velikosti ploch pod křivkou $f(t)$, jak ukazuje obr. 5.



Obr. 5 Grafické vyjádření funkcí $Q(t)$, $R(t)$

Zdroj: Martínek, Z. – Hájek, J.: *Teorie spolehlivosti v energetice*. Plzeň: Západočeská univerzita 2002.

[4]

3.2.2 Ukazatele spolehlivosti obnovovaných objektů

Každý opravitelný objekt projde během svého technického života bezporuchovými a poruchovými stavy, které na sebe navazují. I pro tyto objekty platí, že se na počátku provozu předpokládá bezporuchový stav. Pro obnovované objekty je místo ukazatele střední doby do poruchy zaveden ukazatel střední doby mezi poruchami.

Střední dobu mezi poruchami T_s vyjadřuje aritmetický průměr všech naměřených dob bezporuchového provozu od skončení opravy do výskytu následující poruchy pomocí vztahu:

$$T_s = \frac{t_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} \quad (3.2.2.1)$$

t_p je kumulativní doba provozu vypočtená jako součet všech dob provozu za sledované období
 n je počet výpadků způsobených poruchami.

Intenzita poruch λ je definována převrácenou hodnotou T_s :

$$\lambda = \frac{1}{T_s} \quad (3.2.2.2)$$

V některých literárních pramenech je možné se setkat s ukazatelem MTBF (Mean Time Between Failures), který se počítá jako střední doba od začátku vzniku jedné poruchy do začátku vzniku poruchy další. Je zřejmé, že v této době bude zahrnuta i doba trvání opravy.

Okamžitý součinitel pohotovosti K_p určuje míru pravděpodobnosti provozuschopného stavu systému v čase t .

$$K_p = \frac{t_p}{t_p + t_o} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{oi}} \quad (3.2.2.3)$$

t_p je kumulativní doba provozu vypočtená jako součet všech dob provozu za sledované období.

t_o je kumulativní doba opravy vypočtená jako součet všech dob oprav za sledované období.

Střední dobu opravy T_o určuje podíl kumulativní doby opravy a počtu poruch:

$$T_o = \frac{t_o}{n} \quad (3.2.2.4)$$

Střední frekvence oprav μ je střední počet oprav, které lze uskutečnit za jednotku času s dostupnou opravářskou kapacitou.

$$T_o = \frac{1}{\mu} \quad (3.2.2.5)$$

Okamžitý součinitel pohotovosti K_p je možné zapsat i pomocí střední frekvence oprav a intenzity poruch:

$$K_p = \frac{T_s}{T_s + T_o} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (3.2.2.6)$$

Součinitel prostoje K_n je možné zapsat vztahem:

$$K_p + K_n = 1 \quad (3.2.2.7)$$

a určuje se u něj okamžitá a ustálená hodnota. Okamžitý součinitel prostoje $K_n(t)$ – udává, s jakou pravděpodobností nebude systém v čase t provozuschopný.

Stacionární součinitel prostoje $K_a = \lim_{t \rightarrow \infty} K_n(t)$ pro $(t \rightarrow \infty)$ udává pravděpodobnost, že v kterémkoli libovolně zvoleném okamžiku nebude systém provozuschopný.

Je velmi důležité nezaměňovat pravděpodobnost bezporuchového provozu a součinitele pohotovosti. Tyto definice si jsou velmi podobné, ale nejsou v žádném případě stejné. Pravděpodobnost bezporuchového provozu stanovuje míru nezavinění poruchy ve sledovaném úseku, ale součinitel pohotovosti posuzuje stav v náhodně zvoleném okamžiku (okamžitý součinitel pohotovosti) nebo statisticky srovnává počet případů provozuschopného a mimoprovozního stavu systému ve sledovaném úseku (stacionární součinitel pohotovosti).

Součinitel technického využití K_{tv} – je definován pomocí vztahu:

$$K_{tv} = \frac{t_p}{t_p + t_o + t_u} \quad (3.2.2.8)$$

t_u je kumulativní doba plánované údržby.

[10]

3.3 Parametrický a neparametrický odhad ukazatelů spolehlivosti

Výstupy ze zkoušek spolehlivosti velkého počtu objektů nebo z údajů o provozu za dlouhou dobu je možné získat časové průběhy základních ukazatelů spolehlivostních objektů. Tento postup bývá nazýván statistický. Někdy lze tyto průběhy odvodit deterministicky, tedy ze znalosti materiálových pramenů, poruchových mechanismů.

Při statistickém sledování jsou zaznamenávány doby poruch jednotlivých objektů nebo počty poruch objektů ve zvolených časových intervalech. Naměřené hodnoty je možné zaznamenat do tabulky, z ní vytvořit graf a jednotlivými body grafu proložit křivku. Tento postup je označován jako tzv. neparametrický odhad, ale běžně se nepoužívá. Výhodnější je tzv. parametrický odhad, který spočívá v porovnání průběhu rozdělení poruch s některým zákonem rozdělení odvozeným z určitého matematického modelu. [4]

3.3.1 Neparametrické odhady ukazatelů spolehlivosti

Jak je již napsáno v kapitole 3.3, lze základní ukazatele spolehlivosti získat neparametrickou metodou statistickým sledováním záznamů dob poruch nebo jejich počty. Pro výpočet základních ukazatelů neopravovaných výrobků je důležité, aby nebyly porouchané výrobky opravovány ani vyměňovány (pokud se opraví či vymění, tak již nejsou nadále do základního vzorku zahrnuty). N_0 určuje počet stejných objektů v provozuschopném stavu na začátku zkoušky (tedy v čase $t = 0$), $N(t)$ určuje počet objektů v provozuschopném stavu v čase t . Symbol $\hat{\cdot}$ ve vztazích nad jednotlivými ukazateli značí, že se jedná o statistické odhady veličin.

$$\hat{R}(t) = \frac{N(t)}{N_0} \quad a \quad \hat{Q}(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} \quad (3.3.1.1)$$

ΔN určuje počet objektů, u kterých nastala porucha v časovém intervalu Δt od t do $t + \Delta t$.

$$\hat{f}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N_0} \quad a \quad \hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N(t)} \quad (3.3.1.2)$$

Poměr $\Delta N / \Delta t$ znamená počet poruch objektů za jednotku času. Z rovnic pro $\hat{f}(t)$ a $\hat{\lambda}(t)$ vyplývá, že je hustota poruch rovna střednímu počtu poruch objektů v jednotkovém časovém intervalu začínajícím v době t , který je vztažen k počtu objektů na začátku zkoušky a intenzita poruch je rovna střednímu počtu poruch objektů v jednotkovém časovém intervalu začínajícím v době t , který je vztažen k počtu objektů pracujících bez poruchy v době t . Pro výpočet odhadu intenzity poruch není důležitý počet objektů na začátku zkoušky (není potřeba ho znát). Statistické odhady se blíží pravděpodobnostním ukazatelům (jsou přesnější) tím více, čím je N_0 větší.

Statistický odhad střední doby bezporuchového provozu, resp. střední doba do první poruchy je:

$$\hat{T}_S = \hat{m} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i \quad (3.3.1.3)$$

t_i jsou okamžiky vzniku poruchy jednotlivých objektů.

Statistický odhad rozptylu:

$$\hat{D} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i^2 - \hat{m}^2 \quad (3.3.1.4)$$

[4]

3.3.2 Parametrické odhady ukazatelů spolehlivosti

Při parametrickém rozdělení je bezporuchovost udána jedním nebo více parametry, které se určí pomocí zákona rozdělení. Zákon rozdělení je volen dle průběhu charakteristiky poruchy.

Věrohodnost určení parametrů omezuje především nedostatečné množství záznamů zkoušek spolehlivosti, záznamy o provozu, poruchové hlášení apod.

Pro odhad hodnoty parametrů je nejčastěji využívána metoda nejmenších čtverců nebo metoda největší věrohodnosti.

Pomocí zákona rozdělení poruch, který popisuje charakteristiky bezporuchovosti, je možné dopočítat všechny další veličiny, např. střední dobu bezporuchového provozu, pravděpodobnost poruchy v určitém časovém intervalu apod.

Pro diskrétní proměnnou je v teorii spolehlivosti nejvíce využíváno binomické a Poissonovo rozdělení. Diskrétní náhodnou proměnnou jsou popsány počty vykonaných operací, přičemž porucha se může projevit pouze v okamžicích činnosti objektu.

Pro spojitou náhodnou proměnnou je v teorii spolehlivosti nejvíce využíváno exponenciální rozdělení, Weibullovo rozdělení, Rayleighovo rozdělení, normální rozdělení, logaritmicko-normální rozdělení, gama rozdělení, Erlangovo rozdělení a některé jejich kombinace. Spojitá náhodná proměnná popisuje náhodný čas, ve kterém nastane porucha.

[4]

3.3.2.1 Spojitá náhodná proměnná

3.3.2.1.1 Exponenciální rozdělení

Exponenciální rozdělení, určené jedním parametrem λ , je nejpoužívanější. Exponenciální rozložení má konstantní intenzitu poruch λ a je tedy vhodnou aproximací pro období normálního provozu (viz. oblast B vanové křivky). Neodpovídá tedy období počátečního provozu ani období dožívání výrobku. Pomocí exponenciálního rozdělení snadno určíme bezporuchovost. Jednoduchost výrazu umožňuje analytické řešení bezporuchovosti i pro velmi složité systémy.

Výhodou exponenciálního rozdělení je jednoduchost výrazu pro určení bezporuchovosti, která dovoluje analytické řešení bezporuchovosti i pro velmi složité systémy. Konstantní intenzita poruch λ značí, že je objekt vystaven jen vnějším náhodným poruchám a že k postupným poruchám buď vůbec nedochází, nebo že tyto poruchy u složitých objektů předchází systémy preventivní údržby (např. revize, plánované opravy). Postupnou poruchou může být stárnutí, opotřebení či degradace materiálu.

Exponenciální rozdělení charakterizují tyto vztahy:

$$\lambda = \text{konst.}, \lambda > 0, t \geq 0$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.3.2.1.1.1)$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.3.2.1.1.2)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (3.3.2.1.1.3)$$

$$T_{\gamma} = \frac{1}{\lambda} \lg \frac{100}{\gamma} \quad (3.3.2.1.1.4)$$

$$m = \frac{1}{\lambda} \quad (3.3.2.1.1.5)$$

$$D = \frac{1}{\lambda^2} \quad (3.3.2.1.1.6)$$

γ charakterizuje dobu, během které nebude mít objekt poruchu s pravděpodobností γ (%). Konstantní intenzita poruch znamená, že pravděpodobnost poruchy v časovém intervalu $(t, t + \Delta t)$, pokud sledovaný objekt dožil okamžiku t , je konstantní a nezávisí na čase t .

[2]

3.3.2.1.2 Rayleighovo rozdělení

Rozdělení je využíváno při zjišťování výstřednosti strojírenských součástí, při hodnocení vzdálenosti zásahu od cíle apod.

Závislost λ je lineární a rozdělení je určeno jedním parametrem k .

$$R(t) = e^{-\frac{k}{2}t^2} \quad f(t) = k \cdot t \cdot e^{-\frac{k}{2}t^2} \quad \lambda(t) = k \cdot t \quad (3.3.2.1.2.1)$$

$$T_{stř} = \sqrt{\frac{\pi}{2k}} = \frac{1,253}{\sqrt{k}} \quad D = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \frac{1}{k} = \frac{0,249}{k} \quad (3.3.2.1.2.2)$$

[2]

3.3.2.1.3 Weibullovo rozdělení

Jedná se o zobecnění exponenciálního rozdělení o parametrech:

$m > 0$, $a > 0$ pro čas $t \geq 0$.

Pomocí tohoto rozdělení je možné aproximovat všechny části vanové křivky (záleží na parametru m).

λ je klesající v intervalu $0 < m < 2$ a můžeme s ní aproximovat první část vanové křivky. Pro $m = 1$ přechází v exponenciální, pro $1 < m < 2$ je λ rostoucí konkávní, pro $m = 2$ je rostoucí lineární tak jako Rayleighovo rozdělení a pro $m > 2$ je rostoucí konkávní.

V podstatě lze použití Weibullova rozdělení zjednodušit a stanovit na základě parametru m ($m < 1$, $m > 1$). První případ popisuje dobu do poruchy prvku se skrytými vadami a jeho stárnutí je pomalé.

Druhý případ je vhodný pro použití u prvků bez skrytých vad, které se časem opotřebovávají.

Toto rozdělení je velmi často používáno pro určování dob pracovních životů součástí, které nelze popsat pomocí exponenciálního rozdělení. Vyjadřuje např. mechanické opotřebení a únavu materiálů, dobu životnosti apod.

$$R(t) = e^{-\frac{t^m}{a}} \quad f(t) = \frac{m}{a} \cdot t^{m-1} \cdot e^{-\frac{t^m}{a}} \quad \lambda(t) = \frac{m}{a} \cdot t^{m-1} \quad (3.3.2.1.3.1)$$

$$T_{stř} = a^{\frac{1}{m}} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) \quad D = a^{\frac{2}{m}} \left[\Gamma\left(\frac{2}{m} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{m} + 1\right) \right] \quad (3.3.2.1.3.2)$$

[2]

Kde Γ je funkce $\Gamma(x)$ a určuje ji vztah:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt \quad (3.3.2.1.3.3)$$

V případě přirozených čísel platí vztah:

$$\Gamma(n) = (n - 1)! \quad (3.3.2.1.3.4)$$

[4]

3.3.2.1.4 Gama rozdělení

Jedná se o dvouparametrové rozdělení a je podobné Weibullovu rozdělení. Toto rozdělení je možné použít pro popis systémů se zálohováním.

$$T_{stř} = a^{\frac{1}{m}} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) \quad D = a^{\frac{2}{m}} \left[\Gamma\left(\frac{2}{m} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{m} + 1\right) \right] \quad (3.3.2.1.4.1)$$

[2]

3.3.2.1.5 Normální rozdělení

Nejdůležitější a nejčastější rozdělení spojitě náhodné veličiny je právě Normální rozdělení. Je využíváno v případech kolísání náhodné veličiny, které je způsobeno velkým počtem malých a vzájemně nezávislých vlivů. Tyto vlivy způsobují vznik odchylky od skutečné měřené veličiny.

S rostoucím počtem pozorování se rozdělení průměru pozorovaných hodnot stále více přibližuje rozdělení normálnímu, a to bez ohledu na to, jaké rozdělení veličiny původně měly. Normální rozdělení je označováno $N(\mu, \sigma^2)$, z čehož je patrné, že má funkce dva parametry. Prvním je střední hodnota μ v intervalu $(-\infty, \infty)$. Druhý parametr je rozptyl náhodné veličiny $\sigma^2 > 0$. Parametr σ určuje šířku pásma, kde se náhodné veličiny x vyskytují s pravděpodobností $P = 68,268 \%$.

Speciálním případem normálního rozdělení je tzv. *normované normální rozdělení* (střední hodnota je rovna nule, rozptyl je roven jedné).

Z důvodu nezáporné doby do poruchy je nutno normální rozdělení používat zleva a v nule useknuté. Pro $a > 3\sigma$ (tuto podmínku splňuje většina případů) je vliv useknutí zanedbatelný a výsledky lze akceptovat.

V praxi je normálního rozdělení využíváno k modelování doby do poruchy stárnoucích prvků, prvků, které se opotřebovávají a pro aproximaci jiných rozdělení. Intenzita poruch odpovídá poslední části vanové křivky.

klasický tvar:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp - \frac{(t - a)^2}{2\sigma^2}; F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t \exp - \frac{(t - a)^2}{2\sigma^2} \quad (3.3.2.1.5.1)$$

normovaný tvar:

$$\varphi(x) = \frac{d\varphi(x)}{dt} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{x^2}{2}; \phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp - \frac{x^2}{2} d(x) \quad (3.3.2.1.5.2)$$

$$f(t) = \frac{\varphi\left(\frac{a-t}{\sigma}\right)}{\sigma \cdot \phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)}; \lambda(t) = \frac{\varphi\left(\frac{a-t}{\sigma}\right)}{\sigma \cdot \phi\left(\frac{a-t}{\sigma}\right)}; T_{stř} = a + \frac{\varphi\left(\frac{a-t}{\sigma}\right)}{2 \cdot \phi\left(\frac{a}{\sigma} - 1\right)}; \quad (3.3.2.1.5.3)$$

$$R(t) = \frac{\phi\left(\frac{a-t}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)} \quad (3.3.2.1.5.4)$$

t = střední hodnota parametru t

[2]

3.3.2.1.6 Charlierovo rozdělení

Rozdělení pochází z normálního rozdělení a jeho derivací. Využití nalezne např. pro nesymetrické rozložení četnosti, které se v praxi vyskytuje častěji.

[2]

3.3.2.1.7 Logaritmicko – normální rozdělení

Již z názvu je patrné, že jde o složení dvou výše uvedených rozdělení. V případě použití log pro vyjádření střední doby bude $M = 0,4343$ a v případě použití přirozeného logaritmu je M rovno jedné. Konstanta 1,1513 vznikla pouze přepočtením log na ln.

Toto rozdělení s parametry μ v intervalu $(-\infty, \infty)$ a σ^2 je označováno LN (μ, σ^2) a popisuje stav, kdy má přirozený logaritmus náhodné veličiny X normální rozdělení. Veličina s logaritmicko-normálním rozdělením vzniká součtem velkého počtu vzájemně nezávislých náhodných veličin. Je to tedy kombinace velkého počtu nezávislých náhodných vlivů, jejichž účinky se násobí. Rozdělení je možné využít při popisu rozdělení doby opotřebení některých typů výrobků nebo pro modelování ekonomických veličin.

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}\right] \text{ kde } x = \log t \quad (3.3.2.1.7.1)$$

$$f(t) = \frac{M}{t \cdot \sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\log t - \log a)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3.3.2.1.7.2)$$

$$T_{stř} = a \cdot \exp\left(\frac{\sigma^2}{2M^2}\right) \gg T_{stř} = b + 1,1513 + b^2 \quad (3.3.2.1.7.3)$$

$$D = T_{stř}^2 \cdot \left|\left(\frac{d}{2}\right)^2 - 1\right| \quad (3.3.2.1.7.4)$$

[2]

3.3.2.1.8 Složení některých výše uvedených rozdělení

Superpozicí vhodných rozdělení došlo ke sloučení dobrých vlastností jednotlivých rozdělení nebo dala některým dobrým vlastnostem možnost vyniknout.

[2]

3.3.2.2 Diskrétní náhodná proměnná

Nejčastější diskrétními náhodnými veličinami jsou celočíselné náhodné veličiny $x = 0, 1, 2, \dots$, nebo jen hodnoty nabývající nula - jedna. Nejobvyklejší celočíselnou náhodnou veličinou je četnost jevu v dílčích pokusech, z kterých je pokus složen. Parametry těchto rozdělení nabývají těchto hodnot: $0 < p < 1$, $a > 0$, $\alpha > 0$, $n < N$, $n = 1, 2, 3, \dots, m$, resp. $x = 0, 1, 2, 3, \dots$

[2]

3.3.2.2.1 Binomické rozdělení (Bernouliho)

Toto rozdělení udává pravděpodobnost výskytu m jevů z n pokusů.

$$f(m) = \binom{n}{m} \cdot p^m \cdot q^{n-m} = \binom{n}{m} \cdot p^m \cdot (1-p)^{n-m} \quad (3.3.2.2.1.1)$$

$$F(m) = P(M \leq m) = \sum_{k=0}^m f(k) \quad (3.3.2.2.1.2)$$

$$E(M) = n \cdot p \quad D(M) = n \cdot p \cdot (1-p) \quad (3.3.2.2.1.3)$$

n = počet kusů, p = pravděpodobnost výskytu jevu

Aproximací binomického rozdělení získáme odvození Poissonova rozdělení.

[2]

3.3.2.2.2 Poissonovo rozdělení (zákon řádkého jevu)

Je využíváno k popisu výskytu izolovaných jevů na pozadí času, délky, množství apod. Počet výskytů v měrné jednotce musí být znám předem.

$$E(M) = n \cdot p = a \quad f(m) = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad D(M) = a \quad (3.3.2.2.2.1)$$

$$p = \lambda \cdot \Delta t \quad f(m) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t} \quad f(0) = e^{-\lambda t} \quad R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.3.2.2.2.2)$$

Za předpokladu stacionárního jevu (pravděpodobnost jevu je ve výseku měrné jednotky konstantní, jevy jsou na sobě nezávislé a výskyt více než jednoho jevu v intervalu Δx (pro čas $\Delta \tau$) je nepravděpodobný) lze odvodit obecný vztah pro pravděpodobnost Poissonovu rozdělení. λ značí počet jevů v měrné jednotce a m je počet jevů.

$$p(0, \Delta t) = 1 - \lambda \Delta t \quad p(1, \Delta t) = \lambda \Delta t \quad p(m, \Delta t) = 0 \quad (3.3.2.2.2.3)$$

$$m = 0: P(0, \tau + \Delta \tau) = p(0, \tau) \cdot p(0, \Delta \tau) = p(0, \tau) \cdot (1 - \lambda \Delta \tau) \quad (3.3.2.2.2.4)$$

$$m \neq 0: P(m, \tau + \Delta \tau) = p(m, \tau) \cdot p(0, \Delta \tau) + p(m-1, \tau) \cdot p(1, \Delta \tau) \dots \\ = p(m, \tau) \cdot (1 - \lambda \cdot \Delta \tau) + p(m-1, \tau) \cdot \lambda \cdot \Delta \tau \dots \quad (3.3.2.2.2.5)$$

Což lze upravit na limitní tvar derivace:

$$\frac{p(0, \tau + \Delta\tau) - p(0, \tau)}{\Delta\tau} = -\lambda p(0, \tau) \quad (3.3.2.2.2.6)$$

$$\frac{P(m, \tau + \Delta\tau) - p(m, \tau)}{\Delta\tau} = -\lambda p(m, \tau) + -\lambda p(m - 1, \tau) \quad (3.3.2.2.2.7)$$

Po řešení diferenciálních rovnic lze získat obecný tvar pravděpodobnosti:

$$p(m, \tau) = \frac{1}{m!} \lambda^m \tau^m e^{-\lambda\tau} \quad (3.3.2.2.2.8)$$

[2]

3.3.2.2.3 Geometrické rozdělení

Geometrické rozdělení je zvláštním případem negativně binomického rozdělení. Negativně binomické rozdělení s parametry n a π je jedno z mnoha diskrétních rozdělení, jež jsou spojena Bernoulliho schématem nezávislých pokusů. Veličina X je v negativně binomickém rozdělení rovna době čekání na n -tý úspěch. Pro geometrické rozdělení platí, že parametr n se rovná jedna, tzn. čekání na první úspěch.

Jedná se o model pravděpodobnostního chování náhodné veličiny X , kdy vycházíme z předpokladu, že pravděpodobnost „úspěchu“ každého nezávislého pokusu je právě π z počtu neúspěchů předcházejících n -tý úspěch v nekonečné sérii nezávislých pokusů.

$$f(k) = q^k \cdot p = p \cdot (1 - p)^k \quad (3.3.2.2.3.1)$$

$$E(X) = \sum [k \cdot f(k)] = p \cdot q \cdot \sum [k \cdot q^{k-1}] = \frac{q}{p} \quad (3.3.2.2.3.2)$$

$$D(X) = \sum [k^2 \cdot f(k)] = \left(\frac{p}{q}\right)^2 = \frac{q}{p^2} \quad (3.3.2.2.3.3)$$

[2]

3.4 Odhad parametrů zákona rozdělení

Pro správný odhad parametrů některého zákona rozdělení jsou důležité základní údaje (např. záznam o průběhu zkoušky, provozu zařízení), které jsou zpracovávány statistickými metodami. Poté se určí modely pravděpodobnosti rozdělení poruch, ověří se platnost některého zákona rozdělení poruch a spočítají se odhady parametrů zvoleného zákona rozdělení. Samozřejmě se počítá i bezporuchový provoz, rozptyl a další parametry. Množství základních údajů podstatně ovlivňuje rozsah výpočtů. Jak je již zmíněno v kapitole 3.3.2, je pro odhad hodnoty parametrů nejvíce využíváno metody nejmenších čtverců a metody největší věrohodnosti.

Příslušnou charakteristiku je možné vyjádřit jednou hodnotou parametru nebo intervalem hodnot. Systém určení jedné hodnoty parametru je nazýván jako bodový odhad a metoda určení pomocí intervalu hodnot je nazývána jako intervalový odhad. Intervalový odhad pokrývá teoretickou hodnotu uvažované charakteristiky s určitou pravděpodobností. Neparametrická metoda nepředpokládá žádný typ rozdělení sledované veličiny (např. λ), bodový odhad je určen pomocí pozorování určité veličiny a

následné dosazení do vztahů pro statistické odhady veličin. Naopak parametrická metoda předpokládá určitý průběh – tvar – distribuční funkce $Q(t)$ náhodné proměnné, který obsahuje konstanty (parametry).

Přesnost bodového odhadu charakterizujícího parametr modelu je určena tzv. konfidenčním intervalem. Jedná se o intervalový odhad, který nám říká, v jakých mezích leží parametr θ o předem zvolené pravděpodobnosti γ (pravděpodobnost γ se nazývá konfidenční hladina).

Matematickým zápisem lze konfidenční interval definovat takto:

$$P(\theta_D < 0 < \theta_H) = \gamma \quad (3.4.1)$$

pravděpodobnost γ se nazývá konfidenční hladina nebo úroveň

[2]

3.5 Získávání údajů pro odhady charakteristik – zkušební plán

Pro správné vyjádření odhadů charakteristik je důležité získávání údajů tak, aby byly vyobrazené charakteristiky co nejvíce vypovídající. To je možné zavedením určitých pravidel, tzv. zkušebním plánem. Ze zkušebního plánu lze vyčíst postup sledování výrobku, postup obnovy po poruše atd. Pokud je zkušební plán popsán pomocí symbolů, tak, jak je uvedeno v tab. č. 3 a jedná se o úplné popsání zkušebního plánu, potom je zápis proveden pomocí hranatých závorek. Zkušební plán je tedy možné popsat např. takto: $[n, U, n]$, $[n, U, r]$ a místo malých písmen dosadit číselné hodnoty.

[6]

Tab. 3 Přehled zkušebních plánů

Označení zkušebního plánu	Význam označení
$[n, ., .]$	Postup založený na pozorování n výrobků
$[., U, .]$	Postup, při kterém neopravované výrobky nejsou nahrazovány po poruše v době pozorování
$[., R, .]$	Postup, při kterém neopravované výrobky jsou nahrazovány po poruše v době pozorování, takže je původní počet výrobků zachován (případ procesu obnovy)
$[., M, .]$	Postup, při kterém jsou pozorované výrobky po každé poruše opraveny (případ obecného procesu obnovy)
$[., Tr, .]$	Postup při tzv. useknutém souboru, kde chybí informace o celkovém počtu provozovaných neopravovaných výrobků
$[., ., r]$	Postup, při kterém se pozorování ukončí při r -té poruše
$[., ., t]$	Postup, při kterém se pozorování ukončí po uplynutí určité doby zkoušky t
$[., ., (r, t)]$	Postup, při kterém se pozorování ukončí při r -té poruše nebo po uplynutí určité doby t , podle toho, který jev nastane dříve

Zdroj: ČSN 01 0103: 1975, *Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav*, (UNMZ).

3.6 Spolehlivostní modely

Spolehlivostní model slouží především k tomu, aby formuloval, jak jednotlivé prvky přispívají k vyjádření nespolehlivosti systému jako celku. Ve většině případů je model vytvořen pomocí matematických či grafických vztahů, které upravují fyzickou strukturu systému do formy matematického modelu, který umožní následný výpočet jednotlivých spolehlivostních ukazatelů.

Zpravidla se používají následující formy spolehlivostních modelů:

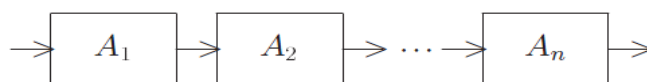
- Spolehlivostní bloková schémata sériových, paralelních nebo sériově paralelních zapojení prvků.
- Grafické a matematické modely Markovových modelů.
- Grafické modely ve formě stromů poruch.

Spolehlivostní model je možné vybrat tak, aby byl nejvhodnější pro výpočet ukazatelů spolehlivosti řešeného problému. Blokové schéma jednoduše vyjadřuje příspěvky jednotlivých prvků na celý systém. Blok se rovná jednomu prvku s uvedenými základními údaji. Bloky jsou propojovány spojnici, což charakterizuje vstup a výstup. Proto je blokový model nejpoužívanější a pro výpočet ukazatelů spolehlivosti lze použít jednoduché vztahy.

[10]

3.6.1 Sériový spolehlivostní model

Porucha jakéhokoliv prvku způsobí poruchu celého systému.



Obr. 6 Schéma sériového modelu

Zdroj: Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.

Pokud si každý z prvků nese svou pravděpodobnost bezporuchového provozu R_i je výsledná pravděpodobnost bezporuchového provozu $R_S(t)$ dána součinem jednotlivých dílčích pravděpodobností.

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (3.6.1.1)$$

Pokud je pro každý prvek zaveden předpoklad konstantní intenzity poruch, je možné vyjádřit $R_S(t)$ takto:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\lambda t} \quad (3.6.1.2)$$

λ je výsledná intenzita poruch systému, získaná jako suma intenzit poruch λ_i všech prvků:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.6.1.3)$$

Pro střední dobu bezporuchového provozu platí:

$$T_S = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3.6.1.4)$$

$$R_S = e^{-n\lambda t} \quad (3.6.1.5)$$

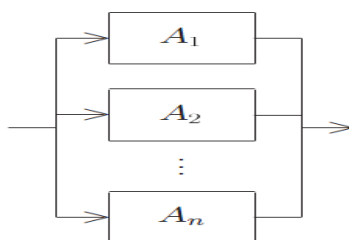
Vztah 3.6.1.5 platí v případě, že všechny prvky sériového systému mají stejnou intenzitu poruch λ .

Sériovost ve spolehlivostním modelu vyjadřuje pouze to, jak prvky přispívají k nespolehlivosti systému. Skutečné zapojení tedy nemusí být sériové. Tento model našel uplatnění u systémů, které neobsahují zálohu.

[10]

3.6.2 Paralelní spolehlivostní model

Celý systém bude v poruše tehdy, pokud dojde k poruše všech prvků společně.



Obr. 7 Schéma paralelního modelu

Zdroj: Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.

Pokud si každý z prvků nese svou pravděpodobnost poruchového provozu Q_i je výsledná pravděpodobnost poruchového provozu $Q_p(t)$ dána součinem jednotlivých dílčích pravděpodobností.

$$Q_p(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad (3.6.2.1)$$

Pro pravděpodobnost bezporuchového provozu systému potom platí:

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (3.6.2.2)$$

[10]

3.6.3 Kombinované modely

Paralelně sériový model - jedná se o paralelní spojení sériových podsystémů

Na obrázku 8 je znázorněn paralelně sériový model, který je charakterizován m paralelními větvemi, z nichž každá obsahuje n prvků v sérii.

Je-li pro každý prvek A_{ij} dána jeho pravděpodobnost bezporuchového provozu R_{ij} , je možno pravděpodobnost bezporuchového provozu paralelně sériového systému odvodit vztah:

$$R_{ps} = 1 - \prod_{i=1}^m \left(1 - \prod_{j=1}^n R_{ij} \right) \quad (3.6.3.1)$$

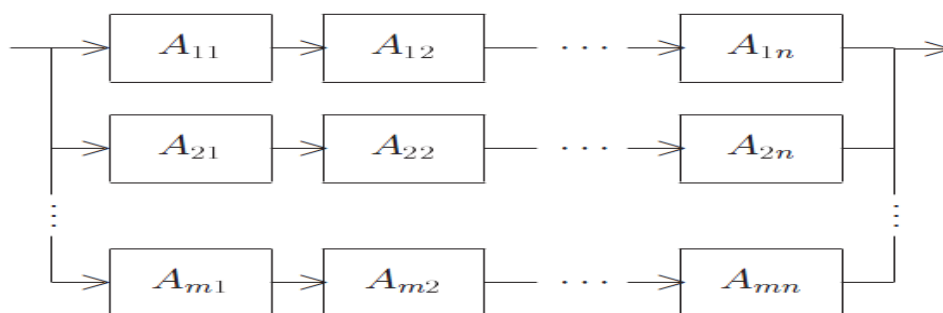
Sériově paralelní model - je tvořen sériovým spojením paralelních podsystémů

Na obrázku 9 je znázorněn sériově paralelní model, který je charakterizován n paralelními podsystémy o m prvcích, a podsystémy jsou mezi sebou spojeny sériově

Při výpočtu pravděpodobnosti bezporuchového provozu sériově paralelního systému je nejprve vyjádřena pravděpodobnost bezporuchového provozu j -tého paralelního podsystému a vzniklé výrazy se mezi sebou vynásobí. Výsledný zápis má tvar:

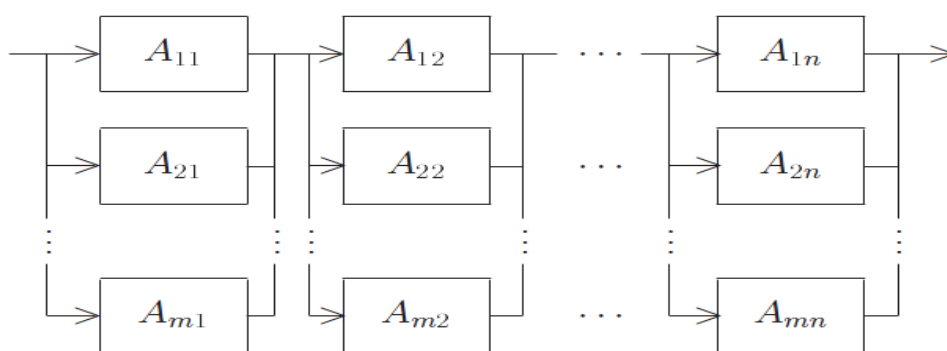
$$R_{sp} = \prod_{j=1}^n \left(1 - \prod_{i=1}^m R_{ij} \right) \quad (3.6.3.2)$$

Pokud jsou hodnoty R_{ij} a rozměry m, n stejné, je hodnota R_{sp} vždy vyšší, než R_{ps} . Tuto vlastnost způsobuje existence většího počtu cest ze vstupu na výstup v sériově paralelním modelu. Sériový model popisuje zálohu každého prvku samostatně, ale u paralelního modelu je zálohován celý podsystém.



Obr. 8 Schéma paralelně sériového schématu

Zdroj: Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.



Obr. 9 Schéma sériově paralelního schématu

Zdroj: Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.

[10]

3.7 Spolehlivost základních částí elektrických přístrojů

Elektrické přístroje působící v energetické soustavě jsou namáhány nejhoršími provozními podmínkami, které na tuto soustavu působí. Ve většině případů pracují ve venkovním prostředí a za jakýchkoli okolností musí být připraveny splnit svou funkci. Ne vždy jsou na těchto přístrojích prováděny pravidelné kontroly a údržba (např. ve vysokohorských oblastech není možné v zimním období kontrolovat úsekové odpínače na příhradových stožárech). Nevýhodou je také stav, kdy jsou přístroje po dlouhou dobu v klidu a požadovanou funkci musí vykonat ve velmi krátkém časovém úseku za všech klimatických podmínek (odpojovač 2 až 4 s, vypínač 50 až 100 ms).

Vypínač navíc plní, kromě funkce řídícího článku, také funkci ochrannou. Musí tedy spolehlivě vypnout při poruše jakéhokoliv z ostatních členů přenosové soustavy a zabránit tak havárii, ekonomickým škodám či úrazu.

[1]

Tab. 4 Spolehlivost vybraných elektrických prvků

Součást	Poruchy/provozní hodiny	Index spolehlivosti
relé	21/20 700	1/740
polovodičové diody	18/57 500	1/2 340
konektory	9/100 000	1/6 850
transformátory	3/47 000	1/7 050
tlumivky	0/90 500	1/ 39 400
rezistory	15/990 000	1/46 000
pájené spoje	88/6 660 000	1/66 000

Zdroj: Bárta, K. - Vostracký, Z. a kol.: *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*. 1. vyd. Praha: SNTL 1983, 448 s. ISBN 04-525-83.

3.7.1 Mechanická spolehlivost spínacího přístroje

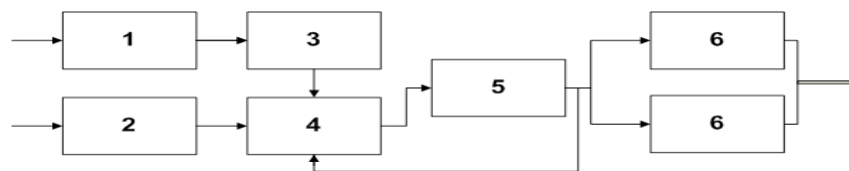
Za základní stavební část jakéhokoli elektrického přístroje je možné považovat izolační nosnou konstrukci. Porucha mechanické či elektrické povahy vede téměř vždy k havárii přístroje a následné poruše v přenosové soustavě. Elektrické přístroje VVN (v základním provedení) mají ve většině případů konstrukci tvořenu z keramických izolátorů. Porucha libovolného izolátoru vede obvykle k havárii, proto je možné považovat zapojení izolátorů za sériový model zapojení. Spolehlivost izolace je nutné posoudit jak z mechanického, tak elektrického hlediska. Z hlediska statistiky by měl být kladen velký důraz na ověřování koordinačních izolačních hladin u napěťových zkoušek. Mechanické vlastnosti nejlépe posoudíme průběžným sledováním a vyhodnocováním příslušných zkoušek, vhodně zvolenou statistickou přejímkou. Pomocí této databáze lze posuzovat rozptyly sledovaných veličin a vyhodnotit tak jejich vlivy na spolehlivost izolátorů v provozu. Tato databáze stávajících výrobků najde uplatnění i při vývoji nových typů, databáze se mohou porovnávat a upřesňovat jejich technické využití. Dle databáze (u nových typů izolátorů) lze specifikovat limitní hodnoty, při kterých je možné ještě výrobek bezpečně používat a tyto limity předložit koncovým zákazníkům či obchodnímu oddělení.

Spolehlivost elektrických přístrojů VVN je posuzována především dle statistického hodnocení vlastností izolátorů.

[1]

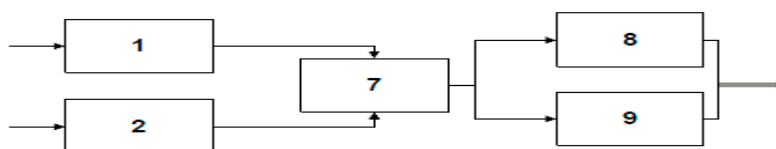
3.7.2 Elektrická spolehlivost spínacího přístroje

Ovládací systém přístroje je nutné ověřit pro všechny provozní stavy. Zpravidla bývá tento systém považován za sériový z důvodu sériového zapojení jednotlivých částí (elektroventily, výstupní pohony atd.). Výsledná spolehlivost je tedy dána součinem jednotlivých dílčích spolehlivostí každého z členů systému. Dílčí spolehlivost musí být větší než požadovaná celková spolehlivost celého systému.



Obr. 10 Blokové schéma zapojení ovl. soustavy vypínače - dřívější

Zdroj: Bárta, K. - Vostracký, Z. a kol.: *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*. 1. vyd. Praha: SNTL 1983, 448 s. ISBN 04-525-83.



Obr. 11 Blokové schéma zapojení ovl. soustavy vypínače - nové

Zdroj: Bárta, K. - Vostracký, Z. a kol.: *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*. 1. vyd. Praha: SNTL 1983, 448 s. ISBN 04-525-83.

kde je 1 vypínací a 2 zapínací solenoidový ventil, 3 až 9 pneumatické kaskádní ventily.

Pro správné vyhodnocování spolehlivosti spínací schopnosti zhášecích komor je nutné zpracovat výsledky zkoušek jak vývojových, tak typových i provozních záznamů z důvodu malého počtu kusů. Pokud bychom počítali spolehlivost jen z typových zkoušek, mohli bychom dojít k mylnému závěru o vysoké spolehlivosti právě z důvodu malého počtu kusů – tedy zkušební vzorku.

Pro výrobce je důležitá spolupráce s provozem z důvodu výměny informací o chování zařízení ve skutečném provozu. I přes vysokou úroveň zkoušek výrobců nelze podchytit všechny provozní stavy a jevy. Např. není možné vypínač odzkoušet potřebným počtem spínání (v řádu 10^3). Ucelené posouzení umožní přesné stanovení termínu revizí, předepsané výměny opalovacích kontaktů apod.

Spínací ústrojí vypínačů VVN bývá obvykle složeno z několika zhášecích komor, které jsou zapojeny v sérii. Výsledná spolehlivost celého ústrojí není dána součinem dílčích spolehlivostí, protože je závislá na poměrném zatížení jednotlivých zhášecích komor a velikosti směrodatné odchylky pravděpodobnostního rozdělení spínací schopnosti zhášecí komory.

Výslednou spolehlivost spínacího ústrojí udává součin mechanické a elektrické spolehlivosti, protože je spínací schopnost podmíněna správnou mechanickou funkcí zhášecí komory.

V oblasti spínání jmenovitých proudů bude výsledná spolehlivost určena zejména stupněm mechanické spolehlivosti a v oblasti zkratových proudů bude naopak převažovat vliv elektrické spolehlivosti.

[1]

3.8 Zkoušky spolehlivosti

Pro správně provedenou zkoušku spolehlivosti je důležité stanovit rozsah zkoušeného souboru a určit dobu zkoušky tak, aby bylo zajištěno dosažení výsledků s určitou pravděpodobností. Tento postup je nazýván zkušebním plánem a ve většině případů má podobu tabulek.

Pro zjištění a kontrolu jednotlivých ukazatelů slouží zkoušky spolehlivosti. Teorie pravděpodobnosti a matematická statistika jsou základem těchto zkoušek.

Základní dělení zkoušek z pohledu praxe může být následující:

- 1. Laboratorní.**
 - 1.1. Dlouhodobé.
 - 1.2. Zrychlené zatížením.
 - 1.2.1. Konstantním.
 - 1.2.2. Stupňovitým.
 - 1.2.3. Postupným.
 - 1.3. Zkrácené.
- 2. Třídící.**
- 3. Provozní.**

Rozdělení zkoušek spolehlivosti není absolutní, je možné je dělit podle způsobu zatěžování, podle zjišťovaných vlastností, podle prostředí ve kterém se zkoušky uskutečňují apod.

V odborných publikacích, technických normách a učebnicích je tedy možné se setkat s jiným rozdělením, než které je popsáno v této bakalářské práci.

Nejběžněji zkoušeným ukazatelem je bezporuchovost. Zkoušky skladovatelnosti, životnosti nebo opravitelnosti jsou založeny na principech zkoušek bezporuchovosti. Určující zkoušky zjišťují skutečné hodnoty požadovaných ukazatelů spolehlivosti objektů. Nejčastějšími ukazateli jsou střední doba do poruchy, střední doba mezi poruchami, intenzita poruch. Kontrolní zkoušky slouží k ověřování hodnot ukazatelů spolehlivosti výrobků, zda vyhovují požadavkům či nikoliv. Postupné zkoušky spolehlivosti slouží ke zkoušení výrobků v provozu, který je podobný provozu u odběratele. V případě poruchy je porucha vyhodnocena, odstraněna a ve zkoušce se pokračuje. Počet poruch během zkoušky určuje přijetí nebo zamítnutí zkoušených objektů.

Další rozdělení zkoušek může být podle hledisek:

- 1. podle cílů, které se zkouškami sledují**
 - 1.1. Určující.
 - 1.1.1. Zkoušky ukončené určitým počtem poruch.
 - 1.1.2. Zkoušky ukončené po určité stanovené provozní době.
 - 1.1.3. Zkoušky s opravami vadných výrobků.
 - 1.1.3.1. Navrácení do zkušebního procesu.
 - 1.1.3.2. Záměna za nové, bezvadné, výrobky.
 - 1.1.4. Zkoušky vyřazující vadné výrobky (bez záměny).
 - 1.1.4.1. Zkouška ukončená poruchou s opravou nebo záměnou porušených výrobků.
 - 1.1.4.2. Zkouška ukončená poruchou bez opravy nebo záměny porušených výrobků.
 - 1.2. Kontrolní (ověřovací).

- 1.2.1. Postupná zkouška spolehlivosti.
- 1.2.2. Zkouška trvající určenou dobu.
- 1.2.3. Zkouška trvající do určitého počtu poruch.
- 2. Podle doby trvání.**
 - 2.1. Dlouhodobé.
 - 2.2. Zkrácené.
 - 2.3. Zrychlené.
- 3. Podle místa realizace.**
 - 3.1. Laboratorní.
 - 3.2. Provozní.
 - 3.3. Třídící.

Zkoušky spolehlivosti jsou velmi rozsáhlou, ekonomicky náročnou činností. Plánování a vyhodnocování zkoušek vyžaduje značné odborné znalosti. Je tedy zvykem zařazovat zkoušky do procesu jiných zkoušek nebo je slučovat s jinými zkouškami z důvodu snížení nákladů s nimi spojených.

Zkoušky spolehlivosti mohou být tedy součástí zkoušek předběžných, typových, předávacích, vývojových.

[10]

Určující zkoušky jsou zařazeny mezi zkoušky základní. Určující zkoušky spolehlivosti mohou být využity pro tyto účely:

- Pro porovnání předpokladů, teoretických výpočtů a technických požadavků se skutečností.
- Pro zanesení hodnot ukazatelů spolehlivosti do technických podmínek.
- Pro odhalení nespolehlivých součástí, nedostatků v návrhu obvodů, v návrhu konstrukčního řešení i v technologickém provedení na základě analýzy vzniklých poruch.
- Pro návrh opatření, jimiž lze zvýšit spolehlivost výrobků.
- Pro stanovení a zpřesnění intervalů a rozsahu technické údržby.
- Pro zpřesnění souboru nezbytných náhradních dílů a servisních přístrojů.
- Pro stanovení období častých poruch.
- Pro vyšetření zákona rozdělení pravděpodobnosti zjišťované náhodné veličiny.

Ověřovací zkoušky spolehlivosti ověřují, zda hodnoty ukazatelů spolehlivosti vyhovují požadavkům či ne. Ve většině případů jsou využívány k ověření úrovně pravděpodobnosti $R(t)$. Lze s nimi ověřit i další ukazatele, jako je např. životnost či opravitelnost.

Hodnoty ověřovaného ukazatele spolehlivosti pro jeho přijetí a zamítnutí, rizika výrobce (α) a odběratele (β) jsou výchozími údaji pro plánování ověřovacích zkoušek. Riziko α vyjadřuje pravděpodobnost toho, že pokud výrobek přesáhne předepsanou střední dobu bezporuchového provozu, nebude podle výsledku postupné zkoušky přijat jako vyhovující. Riziko β vyjadřuje pravděpodobnost toho, že pokud bude střední doba bezporuchového provozu menší jak předepsaná, výrobek bude přijat.

Výsledky ověřovacích zkoušek poskytují informaci o výrobcích, které buď splní, nebo nesplní zadanou hladinu požadavků. Neposkytují informaci o jejich skutečné hodnotě.

Mezi ověřovací zkoušky je možné zařadit postupnou zkoušku spolehlivosti, která je všeobecně používána. Postupnou zkouškou jsou simulovány podmínky, které se budou vyskytovat u zákazníka.

V případě poruchy dojde k jejímu rozboru, odstranění a pokračování zkoušky. Počet poruch, ke kterým došlo během zkoušky, řídí přijetí či zamítnutí zkoušených výrobků.

Výstupem je postupný časový diagram, který slouží k rychlé a přehledné informovanosti o dobrých či špatných výrobcích. Případy ležící v oblasti mezi dobrými a špatnými výrobky vedou k prodlužování zkoušky. Proto je nejvýhodnější volba krátké doby zkoušky. Musí být tedy časovým výběrem a tento výběr nevyhnutelně zavádí vyčíslitelná rizika, která je nutné akceptovat. Jak ukazuje obr. č. 12, jsou poruchy zakresleny v podobě schodovité čáry jako funkce času.



Obr. 12 Diagram poruch při zkoušce spolehlivosti

Zdroj: Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.

Zkouška pokračuje do doby překročení schodovité čáry jedné ze dvou mezních přímek. Časová stupnice je v jednotkách střední doby bezporuchového provozu T_s , která je stanovena technickými podmínkami zkoušených výrobků (může to být den, ale také počet cyklů apod.).

Poloha mezních přímek p a z závisí na dohodnutém riziku výrobce a na riziku odběratele. Dalšími používanými ověřovacími zkouškami jsou zkoušky s trváním do předem určené doby nebo do předem určeného počtu poruch.

[10]

3.8.1 Význam zkoušek spolehlivosti

Základní návrh výrobku podstatně ovlivňuje vlastnosti součástky a tudíž i její hladinu spolehlivosti. Návrh určí vlastnosti součástky v kombinacích času a prostředí. Součástka přestává při působení degračních činitelů plnit svou funkci – stává se nevyhovující. Změna může být havarijní nebo částečná. V ideálním prostředí za ideálních podmínek by byla spolehlivost stejného typu součástek stejná. Výrobní proces a použité materiály způsobují, že nelze dodržet 100% schodu dvou součástek a je tedy zřejmé, že úroveň spolehlivosti klesá.

Zkoušky spolehlivosti zjišťují míru degradace vlastností daného zkušební vzorku. Sledováním změn vhodně zvolených technických parametrů je možné degradaci sledovat. Tyto změny jsou obvykle provázány se změnami jiných parametrů, neboť mezi parametry existuje mnoho vnitřních vazeb – závislostí (ty mohou být funkcionální či stochastické). Není tedy potřebné měřit veškeré veličiny.

Technické podmínky či normy stanoví výběr typů. Výsledkem zkoušek pro bezporuchovost a skladovatelnost je intenzita poruch a informace o průběhu intenzity v určitém časovém intervalu. Zkoušky životnosti stanovují ukazatel pro technický život, počet spínacích cyklů, počet otáček apod. Uvedené zkoušky se provádějí jako *zkoušky typové*. V určitých případech je možné technický život pokládat za ukazatel doby do poruchy (neobnovované výrobky).

[10]

3.8.2 Zkoušky dlouhodobé

Mezi základní typy laboratorních zkoušek patří zkoušky dlouhodobé. Charakter těchto zkoušek je velmi podobný skutečnému provozu a výsledky jsou ukazatelem pro zkoušky zrychlené a zkrácené. V těchto zkouškách dochází k simulaci různých vlivů prostředí a měří se stanovené parametry zkoušených prvků na začátku zkoušky a v dalších, předem určených časových intervalech.

Ideálním stavem je úplná automatizace a signalizace překročení nastavených parametrů či mezi každého zkoušeného prvku. Důležitým požadavkem je u dlouhodobých zkoušek stálost podmínek, ve kterých zkouška probíhá. V praxi je tedy důležité sledovat a udržovat v určitých mezích elektrické, mechanické, teplotní veličiny atd. Pokud nejsou podmínky dodrženy a dochází ke kolísání veličin, nelze výsledky porovnávat s předešlými zkouškami.

Hlavní problém těchto součástek spočívá v ekonomické náročnosti. Pokud je nutné zkouškami zjistit, zda je horní mez jednostranného konfidenčního intervalu intenzity poruch $\lambda = 1 \cdot 10^{-7} \text{ h}^{-1}$, a to pro 90% konfidenční úroveň se dvěma přípustnými poruchami, musí se zkoušet výběr 5 300 součástek po dobu 10000 h.

Zkouška je realizována ve zkušební komoře a součástky jsou upevněny tak, aby nedošlo k vzájemnému působení. Je nutné dodržovat správný pracovní režim, dodržet normované hodnoty zatěžovacího proudu apod. Pro zajištění stejných podmínek pro více sad zkušebních souborů prochází součástky před započetím zkoušky aklimatizací. Doba aklimatizace záleží na zkoušených součástkách, ale není menší než jedna hodina.

Dlouhodobé zkoušky jsou většinou prováděny na určitém zkušebním souboru z důvodu velkého rozsahu vyrobených součástek. Získají se tedy statistické odhady ukazatelů spolehlivosti zkušebního souboru. Tyto odhady popisí zjišťovaný ukazatel jedním číslem (různý výběr = různá hodnota ukazatele). Pomocí matematické statistiky proběhne výpočet hodnot mezi konfidenčních intervalů, které pokrývají skutečnou hodnotu ukazatele spolehlivosti se zadanou pravděpodobností.

Při realizaci zkoušek se nejčastěji vychází z platnosti exponenciálního rozdělení. Předpokládají se konstantní hodnoty v druhé části vanové křivky. Není možné uznat teoretický předpoklad za 100% správný a tak je nutné tento předpoklad ověřit na základě výsledků zkoušek. Největší výhodou exponenciálního rozdělení je jednoduchost výpočtu jednotlivých ukazatelů. V praxi je nejčastěji vyjadřována intenzita poruch a střední doba do poruchy pro obnovované i neobnovované objekty.

Pokud dojde k ověření platnosti některého ze zákonů rozdělení, je možné postoupit k další z některého typu zkoušek, mohou to být zkoušky zrychlené nebo zkrácené a tak zpřesnit kontrolu spolehlivosti posuzovaných objektů. Zkoušky zrychlené či zkrácené výrazně snižují náklady zkoušek. Jak je již zmíněno v této diplomové práci, jsou pro skladbu zkoušek využívány zkušební plány.

Porovnání vlastností dlouhodobých zkoušek:

- Mechanismus poruch není důležitý.
- Výstupem zkoušky bývá jediný ukazatel.
- Spolehlivost zkoušených součástek bývá hodnocena za dlouhé časové období.
- Zkoušet lze téměř všechny součástky.
- Výstupy těchto zkoušek slouží pro objektivní posouzení zákona rozdělení hustoty pravděpodobnosti sledované veličiny.
- Z důvodu časové náročnosti zkoušek nelze výstupy zkoušek zpětně konzultovat s výrobou a upravovat výrobní postupy.
- Nelze realizovat pouze jednu zkoušku z důvodu objektivnosti. Poruchy může způsobovat toleranční mez jednotlivých výrobních strojů a není možné z jedné zkoušky poukazovat na kvalitu výroby.

- Z důvodu malého počtu chyb není možné určit podíl vlastních chyb zkoušky a špatných technologických postupů.
- Detekce poruchy musí být sto procentní, odhad intenzity poruch zkreslí již jedna nesprávně detekovaná porucha.
- Ekonomická náročnost zkoušek (neúnosnost vzniká od hodnoty $\lambda = 10^{-8} \text{ h}^{-1}$)
- Vysoká náročnost na prostory pracovišť.

[10]

3.8.3 Zrychlené zkoušky spolehlivosti

Ekonomicky výhodnější variantou oproti zkouškám dlouhodobým jsou zkoušky zrychlené, u nichž dochází ke zrychlení časového průběhu ve vztahu k normálnímu provozu (také může docházet ke zvyšování zátěže apod.). Požadavkem je tedy z chování určitého vzorku, který je podroben zrychlené zkoušce, určit časový průběh sledovaných ukazatelů při nižším namáhání.

Zrychlené zkoušky jsou vhodné i v případech, kdy je žádoucí porovnání dvou výrobků z důvodu technologických úprav výroby. Porovnává se tedy určitý „základní“ výrobek s modifikovanou verzí.

Objekty se ve většině případů vyznačují velmi dlouhým technickým životem a tudíž velmi malou intenzitou poruch (10^{-4} h^{-1} až 10^{-12} h^{-1}). Pokud je potřeba ekonomicky redukovat průběh zkoušky, lze to realizovat zrychleným degračním procesem v součástce. Tímto krokem dojde ke zrychlení zkoušky a omezení rozsahu zkušebního vzorku.

Snížit nákladovost zkoušky lze běžně dvěma způsoby:

- Zpřísnit kritérium poruchy.
- Zvětšit namáhání součástky.

Zrychlení zkoušky nelze realizovat bez správného povědomí o degračních činitelích a jejich vlivech na zkoušený vzorek – může dojít ke změně mechanismů působících degradaci.

Výstupem zrychlených zkoušek bývají činitel zrychlení zkoušky (pro dvě různá mechanická namáhání je to poměr dob, kterou potřebují výrobky pro dosažení stejné četnosti poruchy) a činitel zrychlení intenzity poruch (pro dvě různá mechanická namáhání je to poměr intenzit poruch za stejné období)

Výše uvedené činitele nelze považovat za obecně prosté funkce času.

Při analýze záznamů zrychlených zkoušek je nutné ověřit, zda byly opravdu zrychleny ty degrační vlivy, které se vyskytují i za normálního provozu. Důležitá je také kontrola druhů poruch tak, aby se na zkušebním vzorku neobjevovaly poruchy, které se v normálním provozu nevyskytují.

Zrychlené zkoušky bývají v praxi ověřovány zkouškami dlouhodobými, protože jsou zpravidla zatíženy jiným druhem poruchy, než tím, který se projevuje za provozu. Samotné výstupy bez ověření by nebyly objektivní. Do zkoušek mají být zakládány jen ty soubory, u nichž je prověřena stejnorodost a opakovatelnost výroby, jen takto je možné pokládat zrychlené zkoušky za rovnocenné zkouškám dlouhodobým. Pro posouzení stejnorodosti je možné využít některý z těchto testů: test χ^2 , Wilcoxonův test, Smirnovův test a jiné.

Porovnání vlastností zrychlených zkoušek:

- Výsledky zkoušek umožňují konzultaci s výrobou a úpravu výrobních postupů.
- Lze určit podíl vlastních chyb zkoušky a špatných technologických postupů a navrhnout tak řešení optimalizace.
- Lze změřit spolehlivost výrobních postupů.
- Pozorováním více poruch oproti dlouhodobým zkouškám není důležitá 100% přesnost diagnostiky.
- Vysoké nároky na analýzu, znalosti analyzujícího technika.
- Menší ekonomické náklady.
- Znalost druhů poruch, jejich vazby na jiné možné poruchy a chápání degradací v širším významu.
- Vysoké nároky na záznamovou a měřicí techniku.
- zkoušky nemusí odhalit výskyt nových poruchových mechanismů z důvodu změn výrobních postupů.

[10]

3.8.4 Třídící zkoušky spolehlivosti

Objekty s konstantní intenzitou poruch značí, že jsou zatíženy pouze náhodnými poruchami a výpočet jejich spolehlivostních soustav je podstatně jednodušší. Třídící zkoušky slouží k roztřídění objektů s častými a náhodnými poruchami. Třídění může být souhrn třídících zkoušek, které následují za sebou a vytřídí tak objekty různých, ale častých poruch.

Třídící zkouška musí být pečlivě ověřována, z důvodu oddělování vadných součástí od součástí dobrých. Urychlení degradace vlastností u dobrých výrobků z důvodu urychlení procesu třídění nepříznivě ovlivní výslednou spolehlivost. Je tedy důležité ověřovat spolehlivost i u vytříděných objektů pro porovnání se spolehlivostí objektů nevytříděných.

Třídění lze rozdělit na dva druhy, ve výrobním procesu a na součástce. Třídění ve výrobním procesu bývá nazýváno jako primární a na součástce jako sekundární.

Nejdůležitějším a nejvíce sledovaným tříděním bývá primární třídění. Oproti sekundárnímu umožňuje okamžité ovlivnění výroby. Analýza vad na hotové součástce je obtížná a ovlivnění výroby je ztížené či dokonce nemožné.

Je tedy zvykem mezi jednotlivými technickými operacemi provádět třídění, analyzovat výsledky, pružně ovlivňovat výrobu či samotné třídění. Primární třídění provádí výrobce, sekundární může provádět výrobce či uživatel. U sekundárního třídění lze použít různé metody pro vytřídění výrobků se skrytými či častými vadami. Sekundární třídění nelze realizovat bez primárního třídění, musí navazovat na znalosti výrobních procesů, postupů a výsledků primárních třídících zkoušek.

[10]

4 Diagnostika

Pro správné vyhodnocení stavu objektu během jeho pracovního života je důležité umět tento stav patřičným způsobem posoudit a popsat. Posouzení stavu lze uskutečnit různými prostředky, mezi které patří především technická diagnostika. V technické diagnostice je dáována přednost nedestruktivním a bezdemontážním postupům. Informace o chování objektu je získána vyhodnocením jeho vnějších projevů.

[11]

Diagnostickými prostředky mohou být různá technická zařízení a pracovní postupy analyzující diagnostikovaný objekt s následným vyhodnocením získaných informací. Prostředek diagnostiky může být určitý druh testeru, senzoru, zapisovače apod.

Pracovním postupem lze nazvat diagnostické algoritmy, které začínají studiem objektu, definicí systému a pokračují přes seznam sledovaných poruch, vyhotovení modelu, následně zvoleným diagnostickým algoritmem a diagnostickými prostředky až po samotnou realizaci diagnostického systému. Prostředky lze rozdělit na vnější a vnitřní. Vnější prostředek popisuje oddělení diagnostického zařízení od sledovaného objektu. Uplatnění nalezne v případech, kdy je potřeba diagnostikovat více objektů jedním zařízením, ale také v případech složitého či prostorově rozsáhlejšího objektu. Vnitřní prostředek je takový, který je zabudován přímo do diagnostikovaného objektu. Výhoda tohoto prostředku spočívá v téměř neustálém sledování zájmové veličiny objektu bez zásahu do zařízení. Oba druhy prostředků lze kombinovat a v praxi je to nejrozšířenější metoda diagnostiky. Soubor prostředků, zkoumaných objektů a jejich obsluh bývá nazýván diagnostickým systémem.

Základním úkolem diagnostiky je tedy zjišťovat aktuální technický stav, který je platný pro dobu snímání měřených veličin prostředky měřící techniky. Na základě těchto informací bude, pravděpodobně, provozovatele zajímat vývoj stavu zařízení do budoucna. Touto analýzou se již nezajímá diagnostika, ale prognostika. Správně určit vývoj zařízení je ještě obtížnější než vlastní diagnostika. Pro správné posouzení budoucího vývoje je také důležitá znalost historie zařízení, vliv degradačních činitelů v celé délce života zkoumaného objektu.

Technický stav popisuje schopnost výrobku konat požadované funkce za stanovených technických podmínek. Jak je již napsáno výše, je elektrické zařízení za provozu namáháno několika degradačními vlivy (teplota, napětí, mechanické namáhání, termomechanické namáhání, vlivy klimatu). Analýza skutečného stavu vychází z předpokladu, že každou část zařízení v určitém okamžiku definuje určitý stav vlastností s určitou pravděpodobností přechodu z tohoto stavu do jiného. Degradací vlivy mohou svým působením vyvolat jak vratné, tak nevratné změny vlastností a struktur materiálu. Vratná změna je např. navlhnutí izolace a nevratná např. mechanické opotřebení. Tyto změny způsobují trvalé či dočasné přechody mezi funkčními stavy jednotlivých částí elektrického zařízení.

Technická diagnostika by tedy měla být schopna vyjádřit míru degradace funkčních vlastností objektu, výskyt závad a částečných poruch.

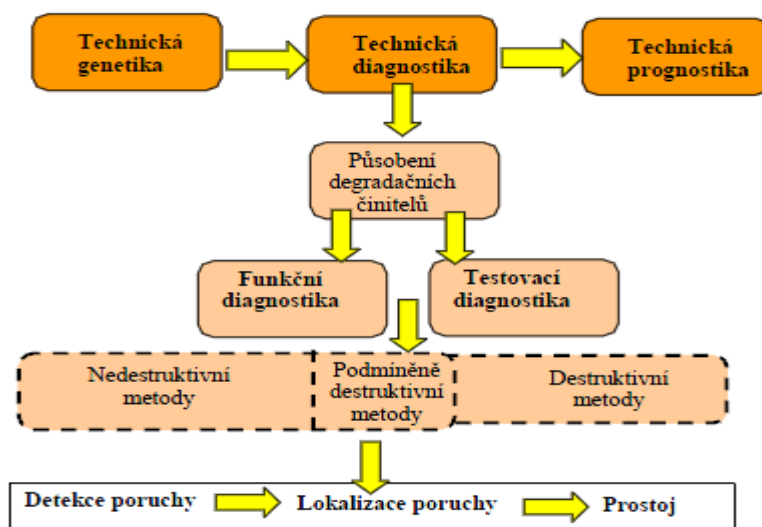
Diagnostikovat zařízení lze několika způsoby:

1. Považovat objekt za černou skříňku a nezkoumat příčiny vzniklých dějů. Vlastnosti posuzovat pouze podle chování stochastických signálů generovaných zařízením. Měření signálů může probíhat spojitě či jen v určitých časových úsecích. Pokud se změní tvar či intenzita signálů, je zřejmé, že dochází ke změně provozního stavu zařízení.
2. Analyzovat příčiny probíhajících dějů. V tomto případě je důležitá znalost použitých materiálů, povědomí o jednotlivých prvcích systému a jejich funkční provázanosti. Ve většině případů tato znalost chybí, a pokud nemáme dostatek informací ani o celkovém namáhání zařízení a

následném dílčím namáháním jednotlivých prvků systému, nelze považovat takovou diagnostiku za objektivní a správně provedenou.

3. Kombinovat výše uvedené způsoby provedení.

[9]



Obr. 13 Diagnostika zařízení

Zdroj: Chmelík, K. a kol.: *Technická diagnostika na elektrických zařízeních*. 140 s.

4.1 Typy diagnostických systémů

Diagnostické systémy rozdělujeme na:

- ON-LINE – což je např. monitorovací systém trvale připojený k diagnostikovanému zařízení, trvale sleduje jeho stav a průběžně vyhodnocuje limitní nastavené hodnoty. Jedná se tedy o sledování za provozu.
- OFF-LINE – v tomto případě probíhá diagnostika na odstaveném zařízení z provozu. Algoritmy testu je možné rozdělit na závislé a nezávislé. Nezávislý test znamená, že není žádná vazba mezi předcházejícím krokem testu a následným krokem. Závislý, jak už samotný název napovídá, naopak realizuje kroky testu v závislosti na stavu kroku, který mu předcházela. Časově náročný je tedy nezávislý test.

Systémy OFF-LINE snadněji lokalizují poruchy, detekují poruchové stavy, které se za provozu nemusí projevit. Tímto systémem je nazýván i postup nasnímání měřené veličiny, její uložení do paměti diagnostického přístroje a následné zpracování naměřených hodnot mimo diagnostikovaný objekt (např. z důvodu krátkých časových odstávek stroje kvůli vysokým ekonomickým ztrátám v případech, kdy stroj nepracuje).

[11]

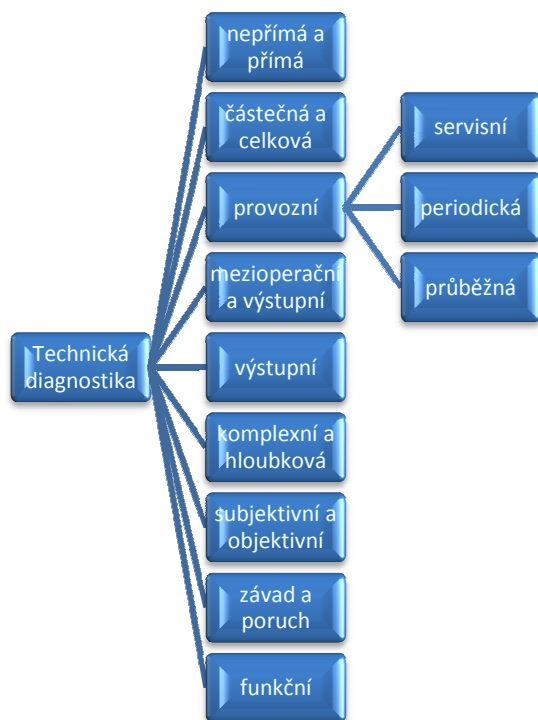
Nejvíce vhodnou metodou jak diagnostikovat systém je funkční diagnostika. Měřené veličiny jsou přímo generovány samotným zařízením za jeho normálního provozu. Další metodou jak diagnostikovat zařízení je pomocí testovací diagnostiky, tedy odstavit stroj z provozu, připojit diagnostické prostředky na zdroj měřené veličiny a ty nechat generovat připojenými diagnostickými prostředky.

Upřednostňovány jsou samozřejmě nedestruktivní metody oproti částečně či plně destruktivním metodám (zkouška zvýšeným napětím). Pokud je to možné, měly by se využívat metody, při

kterých není nutné rozebírat či demontovat zařízení z výrobních agregátů. Upřednostnit by se tedy měly bezdemontážní metody.

Spolehlivý provoz bude zajištěn v případě, že budeme mít dostatečně věrohodné informace o funkčních a provozních stavech zařízení. Diagnózou určíme skutečný stav, prognózou jeho budoucí vývoj a genetikou jeho historii.

[9]



Obr. 14 Členění technické diagnostiky

Zdroj: Vdoleček, F.: *Spolehlivost a technická diagnostika*. Brno: Vysoké učení technické 2002.

4.2 Výstupy diagnostických systémů

Plnohodnotné diagnostiky docílíme jen tehdy, pokud kromě měřených veličin aktuálního stavu uchováme i předešlá měření, jejich výstupy a provozní podmínky, za kterých zařízení pracovalo. Takto vzniknou rozsáhlé databáze, z kterých je možné vycházet při sestavování prognóz vývoje vlastností a jejich následné chování.

Pro vytvoření databáze jsou tedy potřebné prostředky pro vykonávání diagnostických činností a jejich následná úprava, archivace v diagnostickém systému.

Systém může tvořit např.:

- vhodně zvolený typ měřidel, čidla apod.
- volba způsobu diagnostiky.
- volba metody (off-line, on-line).
- zkušenosti a znalosti pracovníků.
- přesnost vyhodnocení měření.
- zpracování a uchování informací z měření.

Veličiny, které tvoří základ funkční diagnostiky, mohou být buď na zařízení přiváděné, nebo zařízením generované. Přiváděné jsou povahy mechanické, elektrické nebo magnetické a generované mohou být např. hluk, vibrace, teplota. Stav zařízení podstatně ovlivňuje časový průběh těchto veličin a pomocí analýzy těchto stavů můžeme zjišťovat stavy jednotlivých částí. Tyto veličiny jsou schopny vyjádřit stav funkčních vlastností zařízení, jejich vazba na činnost zařízení je prokazatelná, jsou snadno měřitelné.

Použitelnost diagnostických metod lze posoudit např. podle toho, zda:

- nevyžadují demontáž zařízení.
- nevyžadují provozní odstávky.
- nevyžadují složité měřicí metody.
- nemusí být k dispozici speciální zařízení pro vytvoření měřené veličiny.
- jsou nedestruktivní.

V praxi se osvědčilo použití dvou, nebo více, nezávislých metod a porovnání dosažených výsledků. Touto metodou dochází při srovnatelných výstupech k získávání věrohodnějších informací.

[9]

4.3 Analýza stavu systému

Při analýze je důležité rozlišit prvotní, druhotnou a nezávislou poruchu, nestandardní stav a samozřejmě rozlišovat příčinu poruchy.

Poruchou prvek ukončuje svou funkci a závada značí nestandardní chování či zhoršování vlastností dílčí složky celého systému, závada může mít příčinu v poruše, ale není to podmínkou. Porucha je tedy událost a závada stavem.

[9]

Elektrické zařízení není reálně provozovat za ideálních podmínek bez projevů závad a poruch.

Závady i poruchy mají svůj původ a lze tedy na základě těchto jevů navrhnout vhodný diagnostický systém.

Porucha může být vnitřní či vnější. Vnější vzniká nedodržením technologických postupů, provozních podmínek či lidským faktorem. Vnitřní příčinu udává konstrukce výrobku.

Poruchy a závady lze rozdělit např. takto:

- Podle druhu porušení (přetížení, mechanické opotřebení).
- Podle doby, ve které porucha/závada nastala (za provozu, při obsluze).
- Podle okamžiku vzniku (náhlá, postupná).

Základ pro vznik poruchy může být již při samotném návrhu výrobku konstruktérem (nedostatečná znalost provozních podmínek, nedodržení vnějších vlivů, nevhodně zvolené materiály), výrobek může být ovlivněn samotnou výrobou (nesprávně provedena montáž, rozdílné toleranční meze jednotlivých strojů), ale také nedodržováním údržbového plánu, neodborná manipulace s výrobkem atd.

[11]

4.4 Volba diagnostického systému

Správně zvolený diagnostický systém zohledňuje jednotlivé fáze technického života výrobku. Diagnostika se liší podle toho, zda je zařízení diagnostikováno při výrobě, provozu nebo údržbě.

Údržbu lze realizovat třemi způsoby:

- Po poruše.
- Dle časového plánu – tzv. údržbový plán.
- Dle skutečného stavu.

Údržba po poruše je nejméně vhodná z výše uvedených možností. Zpravidla vede k poruchám dalších zařízení jako reakce na výjimečný stav a dochází tak k širšímu odstavení technologického procesu. Také druhý způsob je ekonomicky nevhodný, k údržbě je přistupováno dle stanoveného harmonogramu a údržbová četa neřeší, zda je část zařízení potřeba vyměnit či opravit (opodstatnění má např. v jaderné energetice). Ekonomicky nejvýhodnější je tedy třetí možnost – údržba dle skutečného stavu.

[11]

4.5 Diagnostika pomocí modelu

Zejména složité systému je potřebné podrobně sledovat, analyzovat jejich chování a případně simulovat mezní či nestandardní stavy. K tomu nám slouží modely. Na modelu lze provádět různé experimenty, které by mohly skutečný objekt zničit a prodražit tak celý projekt. Simulace umožňuje řízené sledování vlastností a chování originálu pomocí vstupních veličin, které jsou přiváděny na model.

Diagnostický model umožňuje zobrazení bezporuchových a poruchových stavů, umožňuje sledovat chování objektů. Složité systémy bývají rozděleny na dílčí podsystémy, které jsou modelovány postupně.

Modely lze rozdělit následovně:

- Model je zastoupen reálným objektem ve zmenšeném měřítku oproti originálu.
- Matematický model – analytický – popsán algebraickými rovnicemi nebo diferenciálními rovnicemi.

Další dělení může být následující:

- Parametrický model – analýza naměřených dat.
- Logický model – využití matematické logiky.
- Topologický model – využití grafů pro popis a chování prvků systému.

Diagnostiku lze tedy realizovat ve čtyřech základních podmínkách:

- Reálný objekt v reálných podmínkách.
- Model v reálných podmínkách.
- Reálný objekt v modelových podmínkách.
- Model v modelových podmínkách.

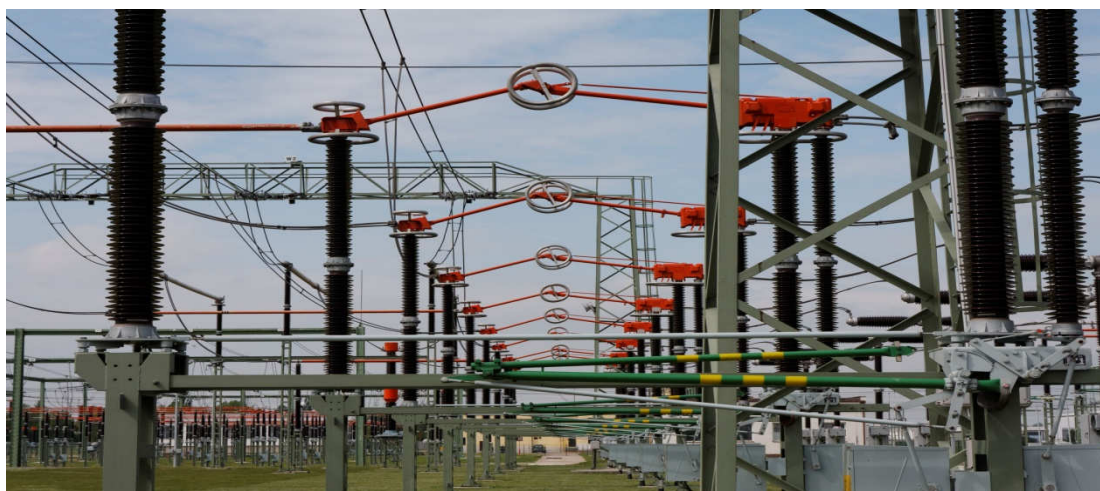
[11]

5 ČEPS, a. s.

V České republice je jediným, výhradním, provozovatelem elektroenergetické přenosové soustavy firma ČEPS, a. s. Správu přenosové soustavy zaručuje licence na přenos (energetický zákon). Správou přenosové soustavy se rozumí poskytování přenosových, systémových, podpůrných služeb, dispečerské řízení přenosové soustavy apod.

Soustavy VVN a ZVN nejsou určeny pouze pro přenos elektrické energie na území České Republiky. Propojením přeshraničními vedeními se soustavami okolních států, resp. s celou kontinentální Evropou v synchronním provozu je možné pomocí soustavy ČR ovlivňovat potřeby evropského trhu. Mezi hlavní úkoly ČEPS, a. s. patří udržení rovnováhy mezi výrobou a spotřebou ČR v reálném čase.

[12]



Obr. 15 Ukázka použití odpojovačů ve venkovní rozvodně – detail

Zdroj: Ing. Kodera Richard (ČEPS, a. s.)



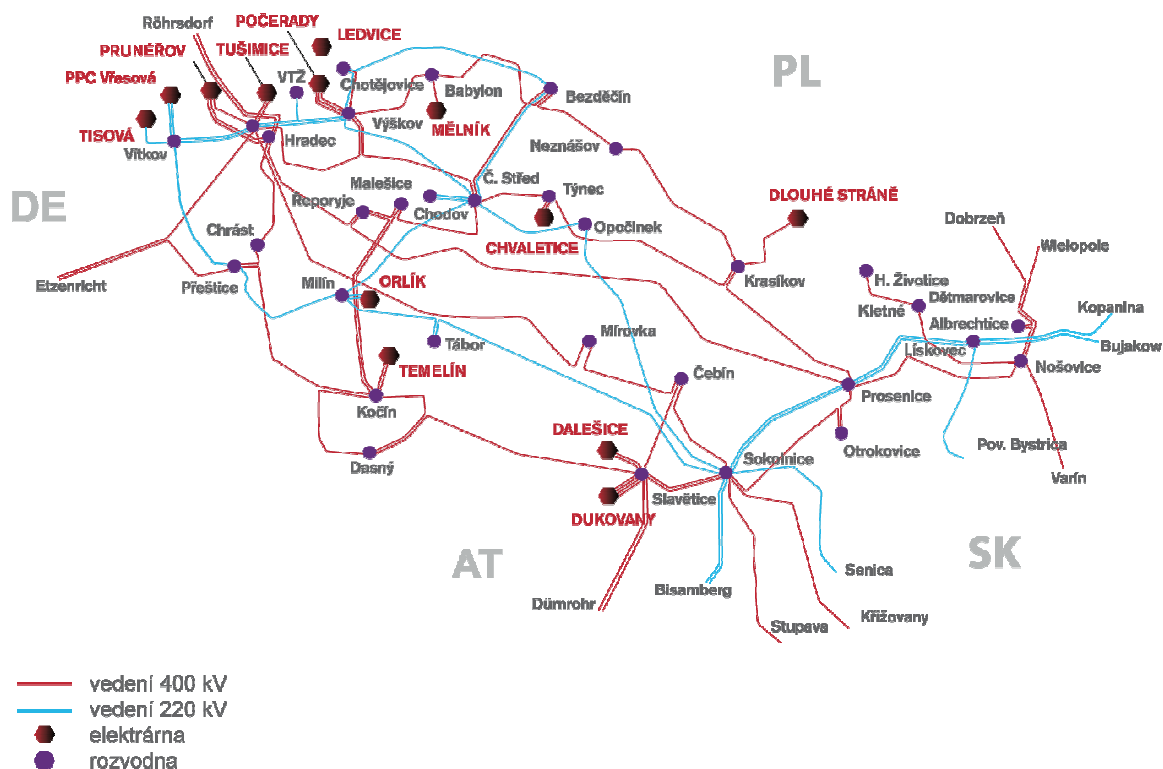
Obr. 16 Ukázka použití odpojovačů ve venkovní rozvodně – celkový pohled

Zdroj: Ing. Kodera Richard (ČEPS, a. s.)

Tab. 5 Technicko-obchodní ukazatele v roce 2011

Nap. hladina	Délka vedení v provozu [km]	Rozvodny [ks]
400 kV	3508	26
220 kV	1909	14
110 kV	84	1

Zdroj: http://www.ceps.cz/CZE/Media/Ke-stazeni/Documents/Profil_CEPS_2012_web.pdf



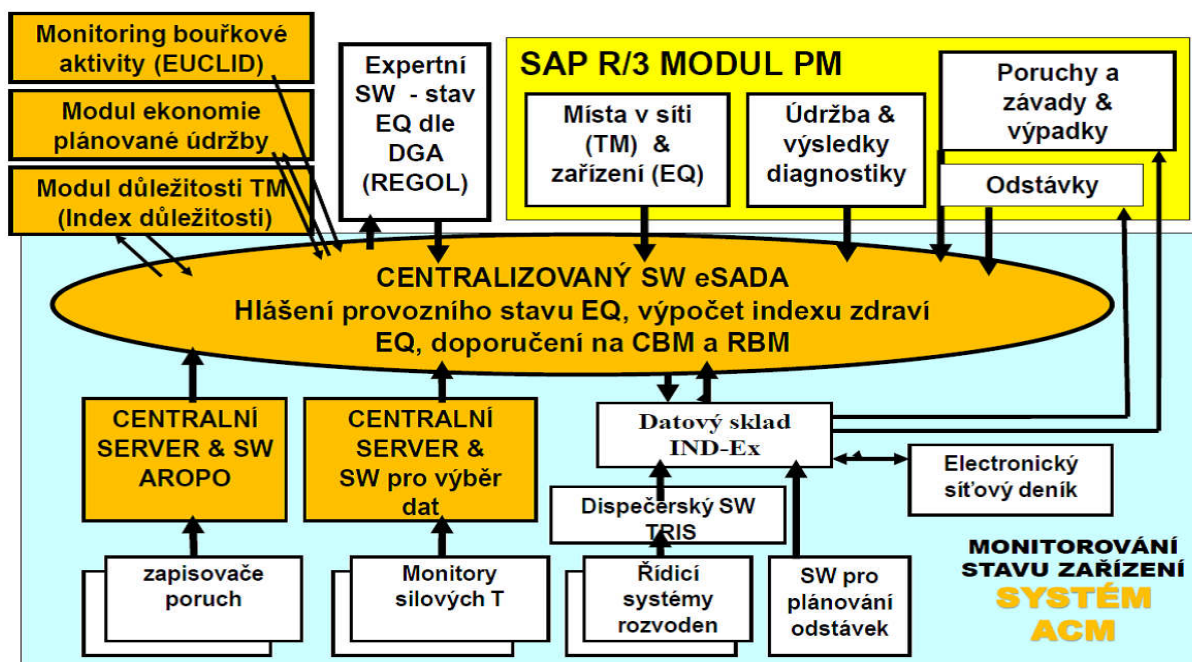
Obr. 17 Schéma rozvodné sítě

Zdroj: <http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Udaje-o-PS.aspx>

6 Výpočet spolehlivosti Q, QE, QM

6.1 Monitorování stavu zařízení

Data pro tuto diplomovou práci poskytla firma ČEPS, a. s. Data byla zaznamenávána diagnostickými prostředky, které byly popsány zejména v kapitole 4. Pomocí interních systémů a softwarů byla data vygenerována do přehledných tabulek MS Office Excel formátu xlsx. Pro evidenci a archivaci záznamů používá firma ČEPS, a. s. profesionální software, monitorování stavu zařízení zobrazuje obr. č. 18.



Obr. 18 Monitorování stavu zařízení

Zdroj: ČEPS, a. s.

Data sešitu aplikace Excel obsahují celou řadu informací, např. rozdělení na závadu či poruchu, číslo hlášenky, přesný začátek a konec poruchy/závady, označení druhu přístroje (Q, QE, QM), výrobní číslo atd. Agenda sledovaných parametrů je značně rozsáhlá a dovoluje široký záběr analýzy dat a její zpracování.

Tab. 6 Ukázka části sešitu získaných dat aplikace Excel

Číslo hlášenky	Začátek	Konec	Druh	Druh - popis	Umístění	Typ	Specifika ce	Výrobní číslo
120000000	16.7.2009	17.7.2009	Q	Odpojovač	LIS=GA.A	OJU 220/1	R2:31B	90417
120000000	16.7.2009	17.7.2009	Q	Odpojovač	LIS=GA.A	OJU 220/1	R2:31B	90418
120000002	10.3.2012	12.3.2012	Q	Odpojovač	BEZ=GA.A	5VOUI 400	R2:56B	721415
120000002	10.3.2012	12.3.2012	Q	Odpojovač	BEZ=GA.A	5VOI 400/2	R2:56A	721723
120000002	10.3.2012	12.3.2012	Q	Odpojovač	BEZ=GA.A	5VOI 400/2	R2:56A	721724

Zdroj: ČEPS, a. s.

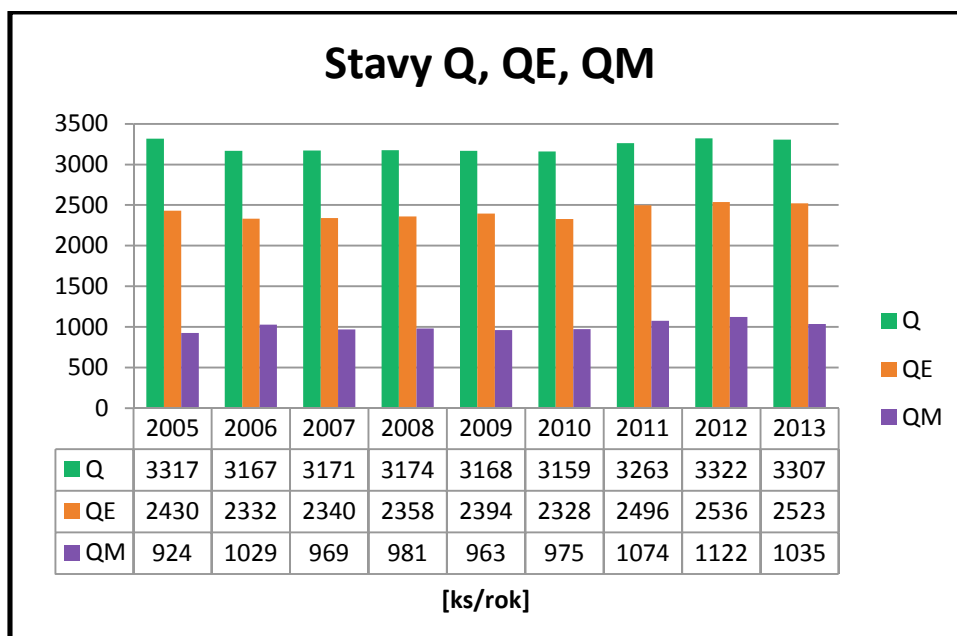
6.2 Postup výpočtu

Pro správný postup výpočtu je potřeba postupovat metodicky v určitých krocích. Nejdříve se určuje, zda bude posuzována spolehlivost neobnovovaných či obnovovaných výrobků a jaký parametr, či jaké období bude sledováno. Poté je vhodné ze sešitu aplikace Excel vyfiltrovat potřebná data a vhodně seřadit pro přesnější orientaci v datech. Objekty (pro výpočet neobnovovaných výrobků) se neopravují a ani nevyměňují. V tomto vzorku došlo k opravám a výměnám objektů, ale do základního vzorku se již při výpočtu neobnovovaných objektů nezahrnuly.

6.3 Výpočet spolehlivostních ukazatelů

Výpočet spolehlivosti byl realizován na zkušebním vzorku odpojovačů, odpínačů, vypínačů (Q, QE, QM) napětových hladin 110 kV, 220 kV a 400 kV. Sledované období je od roku 2005 do roku 2013 včetně. Pro výpočet byla použita neparametrická metoda.

Ve sledovaném období bylo v provozu přibližně 3228 kusů odpojovačů (Q), 2415 kusů uzemňovačů (QE) a 1008 vypínačů (QM). Tato čísla jsou průměrné hodnoty z hodnot, které popisuje obr. č. 19.



Obr. 19 Stavy Q, QE, QM v jednotlivých letech sledovaného období

6.3.1 Neobnovované objekty

Ukazatele spolehlivosti neobnovovaných objektů

1. Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$
2. Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$
3. Hustota poruch $f(t)$
4. Intenzita poruch $\lambda(t)$
5. Střední doba bezporuchového provozu T_s

Vzorce 3.3.1.1 a 3.3.1.2 lze upravit do následujících tvarů:

$$\hat{R}(t) = \frac{N(t)}{N_0} \quad (6.3.1.1)$$

$$\hat{Q}(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} = \frac{n(t)}{N_0} \quad (6.3.1.2)$$

$$\hat{f}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N_0} = \frac{\Delta n(t)}{N_0} \quad (6.3.1.3)$$

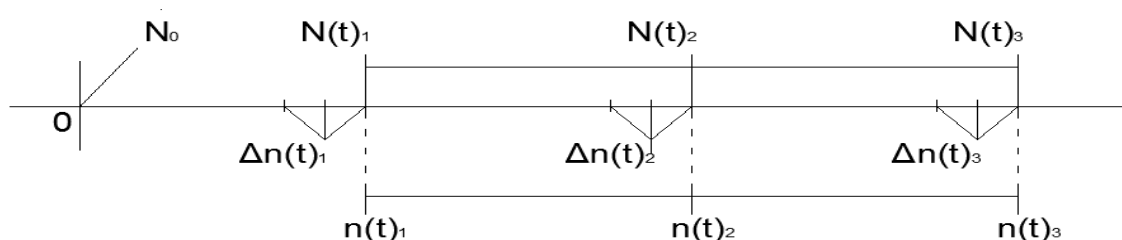
$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N(t)} = \frac{\Delta n(t)}{N_0 - n(t)} \quad (6.3.1.4)$$

$$\hat{T}_S = \int_0^\infty R(t) dt = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} t_i \quad (6.3.1.5)$$

t_i = okamžik poruchy i – tého objektu.

Pro exponenciální průběh (konstantní λ) $R(t)$ je možné psát:

$$\hat{T}_S = \frac{1}{\lambda} \quad (6.3.1.6)$$



Obr. 20 Schéma vzorkování

Tab. 7 Výběr dat odpojovačů

Začátek	Konec	Druh	Druh - popis	Umístění	Typ	Specifika ce	Výrobní číslo
13.9.2005	30.4.2006	Q	Odpojovač	VYS=GA	3VOUI 400	R2:53B	907622
13.9.2005	30.4.2006	Q	Odpojovač	VYS=GA	3VOUI 400	R2:53B	907626
13.9.2005	30.4.2006	Q	Odpojovač	VYS=GA	3VOUI 400	R2:53B	907632
14.11.2005	13.10.2006	Q	Odpojovač	CEB=GA	5SHJU 422	R2:70B	816147
15.11.2005	15.3.2006	Q	Odpojovač	SOK=GA	5VOI 400/2	R2:56A	723934
30.1.2006	1.2.2006	1Q	Odpojovač	VYS=GA	3VOUI 400	R2:53E	907587
13.3.2006	13.3.2006	Q	Odpojovač	CST=GA	9SHJU 242	R2:36B	811698
13.3.2006	13.3.2006	Q	Odpojovač	CST=GA	9SHJU 242	R2:36B	811696
3.4.2006	20.4.2006	Q	Odpojovač	HRA=GA	1SHJU 422	R2:63L	818540
3.4.2006	20.4.2006	Q	Odpojovač	HRA=GA	1SHJ 4220	R2:63K	818547
8.4.2006	9.8.4.2006	1Q	Odpojovač	BEZ=GA	5VOUI 400	R2:56B	721750

Ukázka výpočtu pro rok 2005:

$$\hat{R}(t) = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{3223}{3228} = 0,998\,451\,1 \quad (6.3.1.7)$$

$$\hat{Q}(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} = \frac{n(t)}{N_0} = \frac{3228 - 3223}{3228} = \frac{5}{3228} = 0,001\,548\,9 \quad (6.3.1.8)$$

$$\hat{f}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N_0} = \frac{\Delta n(t)}{N_0} = \frac{5}{3228} = 0,001\,548\,9 \text{ rok}^{-1} \quad (6.3.1.9)$$

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N(t)} = \frac{\Delta n(t)}{N_0 - n(t)} = \frac{5}{3228 - 5} = 0,001\,551\,3 \text{ rok}^{-1} \quad (6.3.1.10)$$

$$\hat{T}_S = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0015513} = 644,6 \text{ rok} \quad (6.3.1.11)$$

Ukázka výpočtu pro rok 2006:

$$\hat{R}(t) = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{3197}{3228} = 0,990\,396\,5 \quad (6.3.1.12)$$

$$\hat{Q}(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} = \frac{n(t)}{N_0} = \frac{3228 - 3197}{3228} = \frac{31}{3228} = 0,009\,603\,5 \quad (6.3.1.13)$$

$$\hat{f}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N_0} = \frac{\Delta n(t)}{N_0} = \frac{26}{3228} = 0,008\,054\,5 \text{ rok}^{-1} \quad (6.3.1.14)$$

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N(t)} = \frac{\Delta n(t)}{N_0 - n(t)} = \frac{26}{3228 - 31} = 0,008\,132\,6 \text{ rok}^{-1} \quad (6.3.1.15)$$

$$\hat{T}_S = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0081326} = 123 \text{ rok} \quad (6.3.1.16)$$

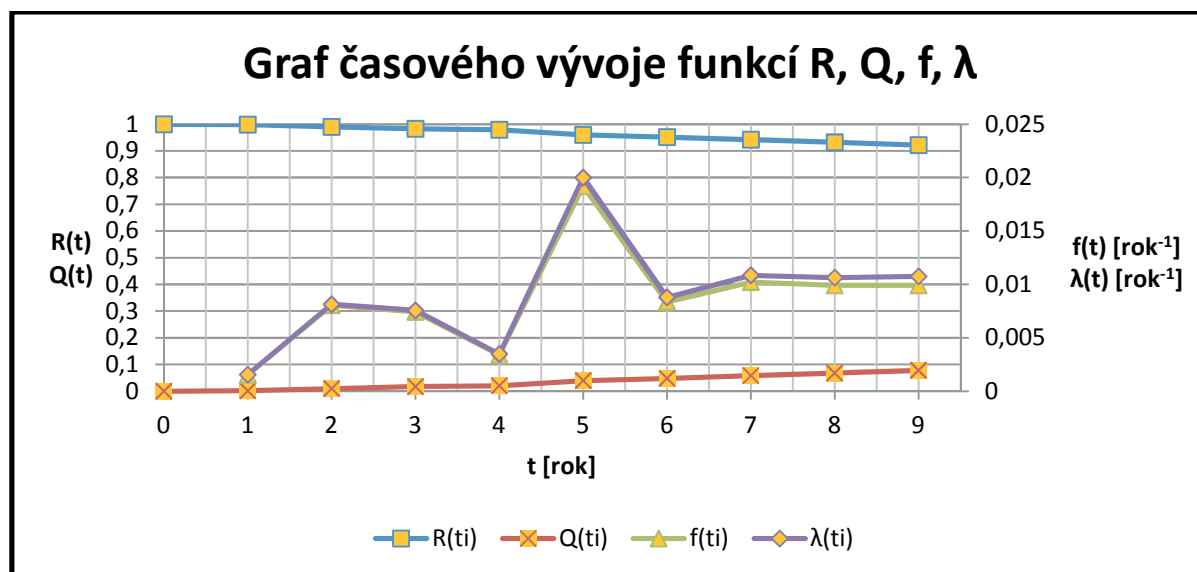
6.3.1.1 Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti odpojovačů

Tab. 8 Změřené hodnoty pro výpočet spolehlivostních ukazatelů odpojovačů

rok	t_i [rok]	Δ_i [rok]	$N(t)$ [ks]	$n(t)$ [ks]	$\Delta n(t)$ [1/rok]
0			3228	0	0
2005	1	1	3223	5	5
2006	2	1	3197	31	26
2007	3	1	3173	55	24
2008	4	1	3162	66	11
2009	5	1	3100	128	62
2010	6	1	3073	155	27
2011	7	1	3040	188	33
2012	8	1	3008	220	32
2013	9	1	2976	252	32

Tab. 9 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů odpojovačů

rok	$R(t_i)$	$Q(t_i)$	$f(t_i)$ [1/rok]	$\lambda(t_i)$ [1/rok]	T_s [rok]
0	1	0			
2005	0,9984511	0,0015489	0,0015489	0,0015513	644,6000000
2006	0,9903965	0,0096035	0,0080545	0,0081326	122,9615385
2007	0,9829616	0,0170384	0,0074349	0,0075638	132,2083333
2008	0,9795539	0,0204461	0,0034077	0,0034788	287,4545455
2009	0,9603470	0,0396530	0,0192069	0,0200000	50,0000000
2010	0,9519827	0,0480173	0,0083643	0,0087862	113,8148148
2011	0,9417596	0,0582404	0,0102230	0,0108553	92,1212121
2012	0,9318463	0,0681537	0,0099133	0,0106383	94,0000000
2013	0,9219331	0,0780669	0,0099133	0,0107527	93,0000000



Obr. 21 Funkce základních ukazatelů spolehlivosti odpojovačů

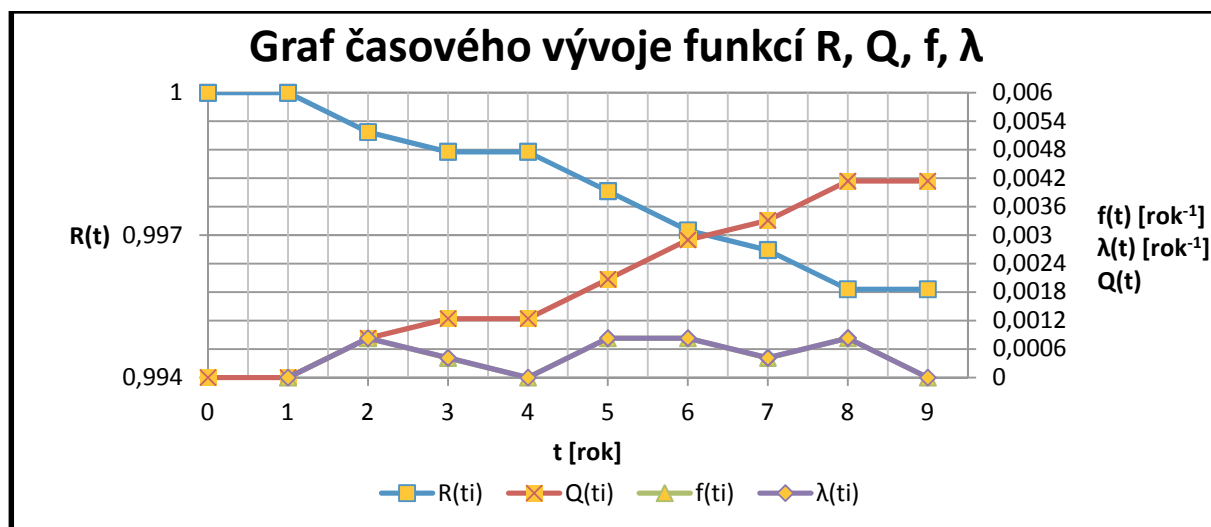
6.3.1.2 Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti uzemňovačů

Tab. 10 Změřené hodnoty pro výpočet spolehlivostních ukazatelů uzemňovačů

rok	t_i [rok]	Δ_i [rok]	$N(t)$ [ks]	$n(t)$ [ks]	$\Delta n(t)$ [1/rok]
0			2415	0	0
2005	1	1	2415	0	0
2006	2	1	2413	2	2
2007	3	1	2412	3	1
2008	4	1	2412	3	0
2009	5	1	2410	5	2
2010	6	1	2408	7	2
2011	7	1	2407	8	1
2012	8	1	2405	10	2
2013	9	1	2405	10	0

Tab. 11 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů uzemňovačů

rok	$R(t_i)$	$Q(t_i)$	$f(t_i)$ [1/rok]	$\lambda(t_i)$ [1/rok]	T_s [rok]
0	1	0			
2005	1,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	
2006	0,9991718	0,0008282	0,0008282	0,0008288	1206,5000000
2007	0,9987578	0,0012422	0,0004141	0,0004146	2412,0000000
2008	0,9987578	0,0012422	0,0000000	0,0000000	
2009	0,9979296	0,0020704	0,0008282	0,0008299	1205,0000000
2010	0,9971014	0,0028986	0,0008282	0,0008306	1204,0000000
2011	0,9966874	0,0033126	0,0004141	0,0004155	2407,0000000
2012	0,9958592	0,0041408	0,0008282	0,0008316	1202,5000000
2013	0,9958592	0,0041408	0,0000000	0,0000000	



Obr. 22 Funkce základních ukazatelů spolehlivosti uzemňovačů

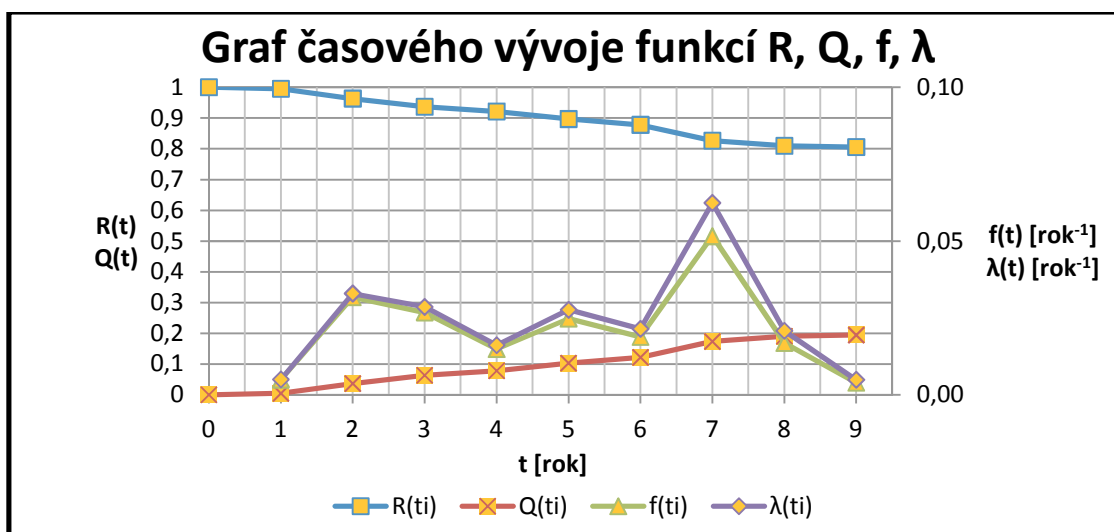
6.3.1.3 Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti vypínačů

Tab. 12 Změřené hodnoty pro výpočet spolehlivostních ukazatelů vypínačů

rok	t_i [rok]	Δ_i [rok]	$N(t)$ [ks]	$n(t)$ [ks]	$\Delta n(t)$ [1/rok]
0			1008	0	0
2005	1	1	1003	5	5
2006	2	1	971	37	32
2007	3	1	944	64	27
2008	4	1	929	79	15
2009	5	1	904	104	25
2010	6	1	885	123	19
2011	7	1	833	175	52
2012	8	1	816	192	17
2013	9	1	812	196	4

Tab. 13 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů vypínačů

rok	$R(t_i)$	$Q(t_i)$	$f(t_i)$ [1/rok]	$\lambda(t_i)$ [1/rok]	T_s [rok]
0	1	0			
2005	0,9950397	0,0049603	0,0049603	0,0049850	200,6000000
2006	0,9632937	0,0367063	0,0317460	0,0329557	30,3437500
2007	0,9365079	0,0634921	0,0267857	0,0286017	34,9629630
2008	0,9216270	0,0783730	0,0148810	0,0161464	61,9333333
2009	0,8968254	0,1031746	0,0248016	0,0276549	36,1600000
2010	0,8779762	0,1220238	0,0188492	0,0214689	46,5789474
2011	0,8263889	0,1736111	0,0515873	0,0624250	16,0192308
2012	0,8095238	0,1904762	0,0168651	0,0208333	48,0000000
2013	0,8055556	0,1944444	0,0039683	0,0049261	203,0000000



Obr. 23 Funkce základních ukazatelů spolehlivosti vypínačů

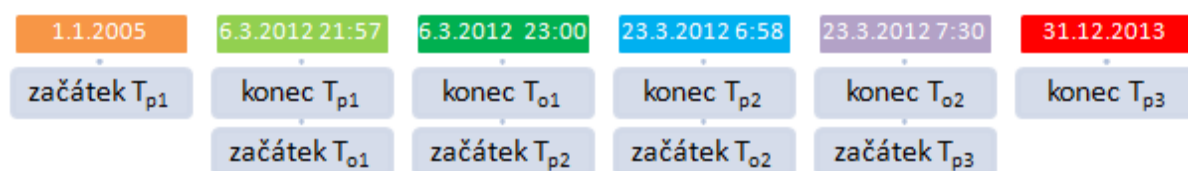
6.3.2 Obnovované objekty

Ukazatele spolehlivosti obnovovaných objektů.

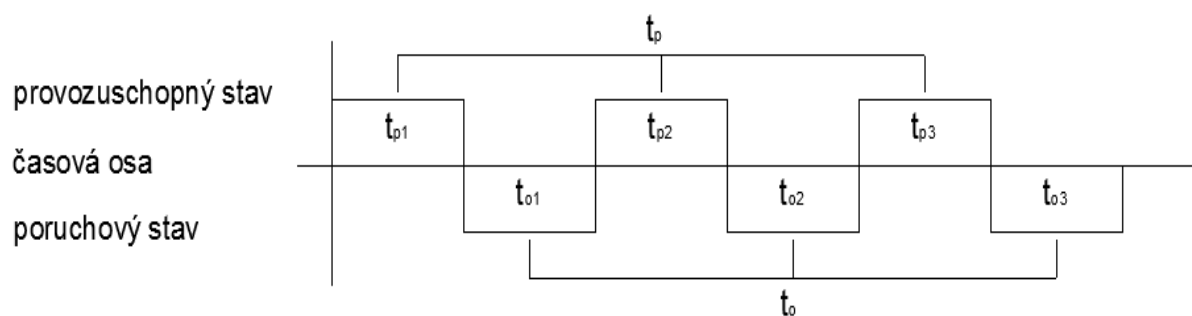
1. Střední doba mezi poruchami T_s .
2. Intenzita poruch λ .
3. Okamžitý součinitel pohotovosti K_p .
4. Střední doba opravy T_o .
5. Střední frekvence oprav μ .
6. Součinitel prostoje K_n .
7. Součinitel technického využití K_{tv} .

Tab. 14 Ukázka doby provozu a poruchy obnovovaného objektu

Začátek	Konec	Druh	Druh - popis	Umístění	Typ	Specifika ce	Výrobní číslo
1.1.2005		Q	Odpojovač				721794
6.3.2012 2	6.3.2012 23:0	Q	Odpojova	BEZ=GA.A	5VOUI 400	R2:56B	721794
23.3.2012	23.3.2012 7:3	Q	Odpojova	BEZ=GA.A	5VOUI 400	R2:56B	721794
	31.12.2013	Q	Odpojovač				721794



Obr. 24 Schéma doby provozu a opravy



Obr. 25 Zobrazení provozuschného stavu a poruchy

Ukázka výpočtu pro výrobní číslo odpojovače 721751:

$$T_S = \frac{t_p}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} = \frac{2004,45 + 616,31 + 664,04}{2} = 1\,642,403\,5 \text{ den} \quad (6.3.2.1)$$

$$\lambda = \frac{1}{T_S} = \frac{1}{1642,4} = 0,000\,608\,9 \text{ den}^{-1} \quad (6.3.2.2)$$

$$K_p = \frac{t_p}{t_p + t_o} = \frac{3284,8}{3284,8 + 1,1929} = 0,999\,6 \quad (6.3.2.3)$$

$$T_o = \frac{t_o}{n} = \frac{1}{\mu} = \frac{1,1929}{2} = 0,596\,5 \text{ den} \quad (6.3.2.4)$$

$$K_p = \frac{T_S}{T_S + T_o} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{1642,404}{1642,404 + 0,59649} = 0,999\,6 \quad (6.3.2.5)$$

$$\mu = \frac{1}{T_o} = \frac{1}{0,5965} = 1,676\,5 \text{ den}^{-1} \quad (6.3.2.6)$$

$$K_n = 1 - K_p = 1 - 0,9996 = 0,000\,4 \quad (6.3.2.7)$$

6.3.2.1 Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti odpojovačů

Tab. 15 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů odpojovačů

výr. č.	t_p [den]	T_S [den]	λ [1/den]	t_o [den]	K_p	T_o [den]	μ [1/den]	K_N
721751	3284,8070	1642,4035	0,0006089	1,1930	0,9996	0,5965	1,6765	0,000363
721794	3285,9340	1642,9670	0,0006087	0,0660	1,0000	0,0330	30,3158	0,000020
811498	3276,7347	1638,3673	0,0006104	9,2653	0,9972	4,6327	0,2159	0,002820
811499	3276,0803	1092,0268	0,0009157	9,9197	0,9970	3,3066	0,3024	0,003019
811535	3275,7347	1637,8673	0,0006106	10,2653	0,9969	5,1327	0,1948	0,003124
811698	3285,9514	1642,9757	0,0006087	0,0486	1,0000	0,0243	41,1429	0,000015
812636	3225,7500	1612,8750	0,0006200	60,2500	0,9817	30,1250	0,0332	0,018335
812643	3285,9688	1642,9844	0,0006086	0,0313	1,0000	0,0156	64,0000	0,000010
812716	3028,9081	1514,4541	0,0006603	257,0919	0,9218	128,5459	0,0078	0,078239
813482	3276,8306	1638,4153	0,0006103	9,1694	0,9972	4,5847	0,2181	0,002790
816147	2885,9681	1442,9840	0,0006930	400,0319	0,8783	200,0160	0,0050	0,121738

Tab. 16 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů odpojovačů

výr. č.	t_p [den]	T_s [den]	λ [1/den]	t_o [den]	K_p	T_o [den]	μ [1/den]	K_N
818245	3093,1118	1031,0373	0,0009699	192,8882	0,9413	96,4441	0,0104	0,058700
821910	3285,2358	1642,6179	0,0006088	0,7642	0,9998	0,3821	2,6172	0,000233
821924	3255,9287	1627,9644	0,0006143	30,0713	0,9908	15,0356	0,0665	0,009151
822325	3282,8271	1641,4135	0,0006092	3,1729	0,9990	1,5865	0,6303	0,000966
822479	3242,2046	1621,1023	0,0006169	43,7954	0,9867	21,8977	0,0457	0,013328
823291	3265,4521	1632,7260	0,0006125	20,5479	0,9937	10,2740	0,0973	0,006253
823292	3265,4521	1632,7260	0,0006125	20,5479	0,9937	10,2740	0,0973	0,006253
824237	3280,3557	1640,1778	0,0006097	5,6443	0,9983	2,8222	0,3543	0,001718
913996	3280,8750	1640,4375	0,0006096	5,1250	0,9984	2,5625	0,3902	0,001560
914157	3282,0996	1641,0498	0,0006094	3,9004	0,9988	1,9502	0,5128	0,001187
417287/A	3175,8340	1587,9170	0,0006298	110,1660	0,9665	55,0830	0,0182	0,033526

6.3.2.2 Vypočtené hodnoty ukazatelů spolehlivosti vypínačů

Tab. 17 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů vypínačů

výr. č.	t_p [den]	T_s [den]	λ [1/den]	t_o [den]	K_p	T_o [den]	μ [1/den]	K_N
1932755	3256,6229	1628,3115	0,0006141	29,3771	0,9911	14,6885	0,0681	0,0089
1932757	3206,9903	801,7476	0,0012473	79,0097	0,9760	19,7524	0,0506	0,0240
1932758	3264,6826	1632,3413	0,0006126	21,3174	0,9935	10,6587	0,0938	0,0065
6010419	3284,9735	1642,4867	0,0006088	1,0265	0,9997	0,5133	1,9483	0,0003
6010739	3232,7042	38792,4500	0,0000258	53,2958	0,9838	26,6479	0,0375	0,0162
08/35105729	3255,0165	1627,5082	0,0006144	30,9835	0,9906	15,4918	0,0646	0,0094
2012647/B	1544,2479	772,1240	0,0012951	1741,7521	0,4699	870,8760	0,0011	0,5301
2035143B	2900,5005	1450,2503	0,0006895	385,4995	0,8827	192,7497	0,0052	0,1173
2037713/C	3272,9556	1636,4778	0,0006111	13,0444	0,9960	6,5222	0,1533	0,0040
3005547/002	1853,6137	926,8068	0,0010790	1432,3863	0,5641	716,1932	0,0014	0,4359
310067B	3283,7854	1641,8927	0,0006091	2,2146	0,9993	1,1073	0,9031	0,0007
310112B	3285,4795	821,3699	0,0012175	0,5205	0,9998	0,1735	5,7636	0,0002
310256A	3277,8324	819,4581	0,0012203	8,1676	0,9975	2,0419	0,4897	0,0025

Tab. 18 Vypočtené hodnoty spolehlivostních ukazatelů vypínačů

výr. č.	t_p [den]	T_s [den]	λ [1/den]	t_o [den]	K_p	T_o [den]	μ [1/den]	K_N
310263B	3278,5833	1639,2917	0,0006100	7,4167	0,9977	3,7083	0,2697	0,0023
310266B	3284,7660	1642,3830	0,0006089	1,2340	0,9996	0,6170	1,6208	0,0004
310271B	3282,7838	1641,3919	0,0006092	3,2162	0,9990	1,6081	0,6218	0,0010
310272B	3281,5946	1640,7973	0,0006095	4,4054	0,9987	2,2027	0,4540	0,0013
310273B	3282,9944	820,7486	0,0012184	3,0056	0,9991	1,0019	0,9982	0,0009
311196A	3173,1458	1586,5729	0,0006303	112,8542	0,9657	56,4271	0,0177	0,0343
311455B	3285,2371	1642,6185	0,0006088	0,7629	0,9998	0,3815	2,6216	0,0002
8137937/B	2991,0014	1495,5007	0,0006687	294,9986	0,9102	147,4993	0,0068	0,0898
8325343/A	3284,8033	1642,4016	0,0006089	1,1967	0,9996	0,5984	1,6712	0,0004
8504381/C	3188,6667	1594,3333	0,0006272	97,3333	0,9704	48,6667	0,0205	0,0296
K35010821	3027,9664	1513,9832	0,0006605	258,0336	0,9215	129,0168	0,0078	0,0785
K35010831	2019,5875	1009,7938	0,0009903	1266,4125	0,6146	633,2062	0,0016	0,3854
K35014167	3285,6660	1642,8330	0,0006087	0,3340	0,9999	0,1670	5,9875	0,0001

7 Závěr

Ve své diplomové práci jsem se snažil poskytnout ucelený pohled na problematiku vytvoření spolehlivostních analýz. Samotné spolehlivostní analýze předchází celá řada úkonů, které zasahují do širokého spektra technických oborů. Pro úspěšné nasnímání a vyhodnocování získaných dat je nutná znalost vnitřních systémů objektů, jejich působení navenek a při složitých systémech i ovlivňování se navzájem. Na zařízení mohou působit jak vnitřní, tak vnější vlivy.

Spínací přístroj je možné rozdělit z pohledu složitosti vnitřních systémů na jednoduchý a složitý. Jednoduchý systém je ve většině případů přehledný, srozumitelný a příčina poruchy snadno zjiřitelná. Složitější systémy již nemusí být na první pohled srozumitelné, přehledné a logické. Vazby mezi nimi, jejich provázání a vnější vlivy mohou výrobek ovlivňovat takovým způsobem, že může dojít ke ztrátě funkceschopnosti a prvek, systém či soustava již nenaplní definici spolehlivosti a bezpečnosti.

Spolehlivostní schémata systémů je možné rozdělit na sériové a paralelní. V literatuře je sériový systém definován jako součin $R(t)$ jednotlivých dílčích subsystémů, ze kterých je složen. Má se za to, že k výpadku dojde i při porušení jednoho z nich. Tento nedostatek z části odstraňuje paralelní systém. Ten je definován součinem $Q(t)$. Při výpadku jednoho subsystému, přejímají, díky paralelnímu řazení, zatížení postižené větve ostatní paralelně zapojené části obvodu. Ale i v tomto systému může dojít k výpadku podobně jako v modelu sériovém. V případě špatného dimenzování či jinými okolnostmi je možné přetížit i další část systému a to tu, která přejímá zatížení v důsledku prvotního výpadku. Dojde tedy k postupnému přetěžování jednotlivých částí systému až k celkovému výpadku. I k tomuto možnému stavu je nutné přihlídnout při určování prvotních příčin poruch a jejich důsledků.

V této diplomové práci jsem napsal, že je neparametrická metoda používána velmi málo. Toto tvrzení není zcela pravdivé, protože je neparametrická metoda základem pro metodu parametrickou. Statistické odhady veličin jsou používány pro nastínění průběhu funkce určitého spolehlivostního parametru. Z pozorování a výsledků náhodné veličiny vytvoříme bodový odhad určitých ukazatelů spolehlivosti a parametrickou metodou – pomocí určitého zákona rozdělení, zkusíme zkoordinovat křivky vytvořené bodovým odhadem s jedním ze zákonů rozdělení. Bodový odhad je funkcí hodnot sledovaného parametru a proto je výsledek zatížen chybou, kterou je možné zmenšit větším rozsahem výběru. Rozsahem výběru může být např. počet událostí. Čím větší bude zkoušený soubor, tím větší bude pravděpodobnost přesnosti a tím větší budou mít vypočtené křivky vypovídající hodnotu.

Data poskytnutá firmou ČEPS, a. s. umožňují vytvářet spolehlivostní analýzy dle řady kritérií. Spolehlivostní analýzu by bylo možné vyjádřit např. pro jednotlivé napět'ové hladiny, pro poruchy a závady mechanického či elektrického rázu (poruchu dělí ČEPS, a. s. na E1, E2, E3 a E4; E1 znamená snadno opravitelná a E4 neopravitelná či oprava ekonomicky nevýhodná – i v tomto případě by bylo možné vytvořit spolehlivostní analýzu). Rozdělení by bylo možné i podle výskytu poruch v jednotlivých oblastech Přenosové soustavy.

Je zřejmé, že diagnostika zařízení a systém shromažďování dat firmou ČEPS, a. s. je na vysoké úrovni a umožňuje vytvářet analýzy, kterými je možné pokrýt téměř všechny provozní stavy a díky těmto analýzám předcházet závadám a poruchám, což vede ke zvyšování spolehlivosti jednotlivých prvků a celé soustavy. Sledování a hodnocení událostí je ve firmě ČEPS, a. s. řízeno směrnici SM/67, identifikace umístění zařízení v rozvodnách PS je řízeno TN/32 a vedení technické evidence zařízení v informačním systému SAP musí splňovat požadavky TN/55. Pro bezpečný a spolehlivý provoz firma ČEPS, a. s. splňuje i další zákonné požadavky, předpisy a normy.

Spolehlivostní ukazatele vypočtené v této diplomové práci nejsou zcela přesné. Resp. mají malou vypovídající hodnotu v důsledku malého zkušebního vzorku. Ve sledovaném období došlo u neobnovovaných objektů ke 252 poruchám odpojovačů, 10 poruchám uzemňovačů a 196 poruchám vypínačů. U obnovovaných objektů byly zaznamenány poruchy u 22 odpojovačů a 26 vypínačů. Množství poruch není dostačující pro určité objektivní závěry.

V případě většího množství dat je metodika výpočtu plně použitelná pro objektivní spolehlivostní analýzu neparametrickou metodou.

Z důvodu neposkytnutí dat firmou ČEPS, a. s. nebyla spolehlivostní analýza počítána pro hladinu VN. V případě dostupnosti dat by byl postup výpočtu shodný s postupem uvedeným v této diplomové práci. Z důvodu ochrany citlivých dat není možné v této diplomové práci zobrazit úplný postup přípravy a výpočtu spolehlivostní analýzy.

Přiblížení se k ideální spolehlivosti spínacích přístrojů nejlépe dosáhneme skloubením projekční činnosti, výrobním postupem a provozní praxí. Toto řešení je ekonomicky náročnější, ale v konečném výsledku neoptimálnější. Pokud existuje vazba mezi provozem a konstrukcí, je možné sledováním provozních stavů přístrojů definovat jejich slabé stránky a informovat o těchto skutečnostech výrobce a z části tak ovlivňovat vlastnosti těchto přístrojů.

Výsledky spolehlivostních analýz je také možné využít pro plánování systémů údržby, cílené školení obsluh a servisních techniků a opět tak zlepšovat výslednou spolehlivost jednotlivých prvků, resp. celých technologických celků či rozsáhlejších systémů.

Systémy, soustavy či samotné prvky je proto nutné neustále sledovat, analyzovat a získaná data archivovat pro zlepšování kvality při návrhu, výrobě i samotném provozu zařízení. Tímto postupem docílíme vyrovnanosti mezi požadavky provozu, ekonomickými hledisky a spolehlivostí v dlouhodobém horizontu.

Literatura

- [1] Bárta, K. - Vostrácký, Z. a kol.: *Spínací přístroje velmi vysokého napětí*. 1. vyd. Praha: SNTL 1983, 448 s. ISBN 04-525-83.
- [2] Goňo, R. – Chemišinec, I. – Martínek, Z. a kol.: *Spolehlivost v elektroenergetice*. 1. vyd. ČVUT Praha: CONTE, ISBN 80-239-6483-6.
- [3] Jareš, J.: *Požadavky na elektrotechnické výrobky při jejich uvádění na trh*. 2. vyd. Praha: IN-EL 2002, 62 s. ISBN 80-86230-27-9.
- [4] Martínek, Z. – Hájek, J.: *Teorie spolehlivosti v energetice*. Plzeň: Západočeská univerzita 2002.
- [5] Vlček, J.: *Bezpečnost elektrických zařízení – příručka pro konstruktéry*. 1. vyd. Praha: BEN 2007, 112 s. ISBN 978-80-7300-222-0.
- [6] ČSN 01 0103: 1975, *Výpočet ukazatelů spolehlivosti dvoustavových soustav*, (UNMZ).
- [7] ČSN 33 0010, ed. 2: 2014, *Elektrická zařízení – Rozdělení a pomy*, (UNMZ).
- [8] Fuchs, P.: *Využití spolehlivosti v provozní praxi*. Liberec: Technická universita 2002.
- [9] Chmelík, K. a kol.: *Technická diagnostika na elektrických zařízeních*. 140 s.
- [10] Polsterová, H.: *Spolehlivost v elektrotechnice*. Brno: Vysoké učení technické 2003.
- [11] Vdoleček, F.: *Spolehlivost a technická diagnostika*. Brno: Vysoké učení technické 2002.
- [12] Podklady firmy ČEPS, a. s. Dostupné z WWW: <http://www.ceps.cz>.